

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

НОЦ И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматическая система регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС-2

УДК 681.51.621.181.013.3:536.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Мартова Светлана Вячеславовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кац Марк Давыдович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код резу- ль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.

P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики НОЦ И.Н. Бутакова
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Профиль Автоматизация технологических процессов и производств в
теплоэнергетике и теплотехнике

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Стрижак П.А.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Мартовой Светлане Вячеславовне

Тема работы:

Автоматическая система регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2	
Утверждена приказом директора № 3703	23.05.18
Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.18

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Проектирование автоматической системы регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 на базе современных технических средств и расчет параметров настройки регулятора. Цикл работы парогенератора непрерывный. Величина температуры перегретого пара парогенератора должна изменяться в пределах 0С. от базового значения при степени затухания переходного процесса не менее 0,95.
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 аналитический обзор по литературным источникам (технология объекта, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации); 2 выбор оптимальных вариантов; 3 постановка задачи проектирования; 4 содержание процедуры проектирования: разработка функциональной схемы контроля, автоматического регулирования и спецификации на технические средства контроля и управления; экспериментальное определение статических характеристик измерительных преобразователей. параметрический синтез системы управления. (расчет ОПН регулятора, построение переходных процессов по каналу возмущения со стороны РО и задания оценка качества переходных процессов). 5 обсуждение результатов выполненной работы; 6 финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7 социальная ответственность; 8 заключение по работе.
Перечень графического материала	1 Схема функциональная 2 Схема принципиальная электрическая 3 Схема монтажная 4 Общий вид щита управления

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Наталия Геннадьевна, старший преподаватель
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович, к.т.н., доцент

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.02.18
--	---------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Бутакова	Кац Марк Давыдович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Мартова Светлана Вячеславовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 118 с., 39 рис., 11 табл., 29 источников.

Ключевые слова: парогенератор, автоматическая система регулирования (АСР), температура перегретого пара, микропроцессорные технические средства автоматизации, теплоэнергетика, проектирование, теплотехника.

Цель работы – модернизация АСУ ТП температуры перегретого пара парогенератора типа БКЗ-210-140 на основе микропроцессорной техники.

В процессе выполнения работы производился выбор структурной схемы, алгоритма управления. По кривым разгона была получена передаточная функция объекта регулирования, были определены параметры настройки регулятора. Так же разработаны функциональная, принципиальная электрическая, монтажная схемы и общего вида щита управления. Осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация.

В результате выполнения работы разработана автоматическая система регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140 на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Оглавление

Введение	10
1 Инновационный анализ	11
1.1 Описание технологической схемы производства тепловой и электрической энергии на ГРЭС-2.....	11
1.2 Системный анализ объекта автоматизации	11
1.3 Состояние автоматизации парогенератора на данный момент	15
1.4 Обзор и выбор структуры автоматической системы регулирования температуры перегретого пара	17
2 Разработка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140.....	21
2.1 Выбор схемы регулирования	21
2.2 Проектная разработка системы управления	22
2.2.1 Проектирование функциональной схемы АСР температуры перегретого пара	22
2.2.2 Выбор технических средств АСР температуры перегретого пара ...	24
2.2.3 Проектирование принципиальной схемы АСР температуры перегретого пара	34
2.2.4 Проектирование монтажной схемы АСР температуры перегретого пара	36
2.2.5 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР	39
3 Расчет АСР температуры перегретого пара.....	41
3.1 Расчет статических характеристик элементов системы.....	41
3.1.1 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя..	41
3.1.2 Расчет коэффициента передачи регулирующего органа.....	43
3.2 Расчет динамических характеристик объекта регулирования.....	46
3.2.1 Экспериментальное определение кривых разгона объекта управления.....	47

3.2.2	Получение передаточных функций по кривым разгона объектов регулирования	49
3.3	Расчет оптимальных настроек регулятора	51
3.3.1	Обзор методов определения параметров настройки регулятора	51
4	Мнемосхема проекта	63
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	66
5.1	Планирование работ и оценка времени выполнения	66
5.2	Смета затрат на проект	69
5.2.1	Материальные затраты	69
5.2.2	Затраты на амортизацию	69
5.2.3	Затраты на заработную плату	70
5.2.4	Затраты на социальные нужды	71
5.2.5	Прочие затраты	71
5.2.6	Накладные расходы	72
5.3	Смета затрат на оборудование и монтажные работы	72
5.4	Расчет годовых эксплуатационных издержек	74
5.5	Расчет экономической эффективности	75
6	Социальная ответственность	78
6.1	Производственная безопасность	79
6.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	79
6.1.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве	80
6.1.3	Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов	80
6.2	Экологическая безопасность	81
6.2.1	Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	81

6.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду	82
6.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	82
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	84
6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве	85
6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	85
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	87
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	87
6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	87
Заключение	89
Список использованных источников	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А	94
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ В	115
Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.007 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.007 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.007 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.007 ВО	Общий вид щита автоматизации

Введение

Современные тепловые электрические станции являются сложными технологическими объектами. Надежную и экономическую работу оборудования обеспечивают автоматические системы управления.

Значительное число тепловых электростанций в России испытывают острую необходимость в модернизации как технологических систем, так и систем контроля и управления основного технологического оборудования. Это обусловлено тем, что средства контроля и управления находятся в эксплуатации 15-10 и более лет, а также отсутствием запасных частей (большинство используемых приборов снято с производства).

Автоматические системы управления котлоагрегатами, находящимися в эксплуатации на ГРЭС-2, не являются в этом плане исключением.

В данной работе разработана автоматическая система регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС-2 и произведен расчет параметров настройки регулирующего устройства. Выпускная квалификационная работа содержит анализ объекта автоматизации, обзор структуры и технических средств контроля и автоматизации.

1 Инновационный анализ

1.1 Описание технологической схемы производства тепловой и электрической энергии на ГРЭС-2

Выработка электроэнергии на ГРЭС осуществляется в три этапа: парогенератор за счет тепла, выделяющегося при сжигании топлива, вырабатывает перегретый водяной пар, далее паровая турбина преобразует тепловую энергию пара в механическую энергию вращения ротора, затем генератор завершает технологический цикл ГРЭС, преобразуя механическую энергию в электрическую.

Особенность технологического и производственного процессов на ГРЭС состоит в невозможности складирования готовой продукции, т.е. электроэнергии. Это означает, что количество тепла и пара вырабатываемое парогенератором в каждый момент времени, должно соответствовать количеству потребляемой электроэнергии. Помимо основных агрегатов – парогенераторов, турбин и электрогенераторов – на ГРЭС имеется значительное количество вспомогательных установок, также оснащенных автоматическими устройствами [1].

Установленные мощности ГРЭС-2: (электрическая 331 МВт, тепловая — 815 Гкал/ч) обеспечиваются 10 парогенераторами (типы: БКЗ-220-100-4 (2 шт.), ТП-230-2(5 шт.), БКЗ-210-140(3 шт.)) и 6 турбинами (типы: Т-50-2, Т-43(50)-90-2м (2 шт.), ПТ-25-90/10, ПТ-60-90/13, Т-110/125-130-8). Основным топливом является Кузнецкий уголь, резервным— природный газ, растопочным— мазут. Штатная численность ГРЭС-2 на 01.04.15 составляет 553 чел.

1.2 Системный анализ объекта автоматизации

Парогенератор БКЗ-210-140, который изготовлен Барнаульским котельным заводом (БКЗ) с номинальной производительностью 210 т/час. Параметры пара: давление – 140 атмосфер, температура – 560 °С.

Котел предназначен для работы как антраците, так и на природном газе. Котел одnobарабанный, вертикально-водотрубный с естественной циркуляцией, однокорпусный, в газоплотном исполнении, П-образной полуоткрытой компоновки.

Топочная камера – призматическая, открытого типа, полностью экранирована трубами, расположенными с шагом 80 мм. В горизонтальном сечении по осям труб имеет размеры 6730х9340 мм. Экраны секционированы по числу транспортабельных топочных блоков. По углам топочной камеры расположены прямооточные щелевые горелки. Фронтной и задний экран в нижней части образуют скаты холодной воронки с углом наклона 50°, в верхней части трубы заднего экрана образуют аэродинамический выступ, который предназначен для улучшения газового аэродинамического потока на выходе из топки и частичного затенения поверхности второй ступени пароперегревателя (ширм). Топочные блоки экранов плоские.

Конструкция топочно-горелочного устройства обеспечивает нормативные выбросы вредных веществ за котлом.

Объектом автоматизации является участок трубопровода, который начинается перед впрыскивающим пароохладителем и заканчивается главной паровой задвижкой парогенератора типа БКЗ-210-140.

Технические характеристики котла БКЗ-210-140 представлены в таблице 1.1[2].

Таблица 1.1 – Технические характеристики котла БКЗ-210-140

КПД, %	84,5
Вид топлива	антрацит
Удельные выбросы оксидов азота (NOx) за котлом, мг/нм ³	570
Давление пара на выходе, МПа	13,8
Температура пара на выходе, °С	560
Ширина, м	9,2
Глубина, м	19,044
Высота, м	37,554
Компоновка котла	П-образная

На рисунке 1.1 изображен продольный разрез котла БКЗ-210-140.

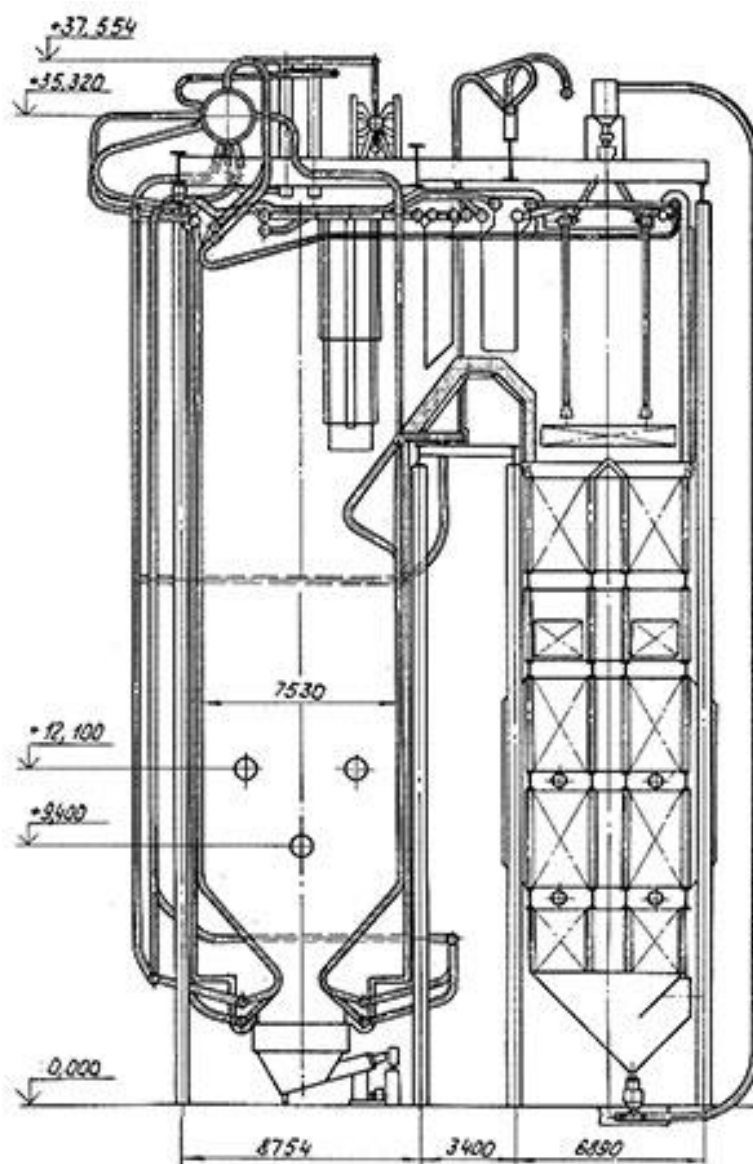


Рисунок 1.1 – Продольный разрез парогенератора БКЗ-210-140

Задача регулирования технологического процесса котельного агрегата сводится, в основном, к необходимости поддержания материального и энергетического баланса, при котором он будет работать в постоянном (стационарном) режиме, который характеризуется постоянством во времени давлений, температур, уровней, расходов и других контролируемых параметров.

При регулировании температуры перегретого пара на современных котлоагрегатах предъявляются жесткие требования к точности поддержания параметра на заданном значении [3].

Допустимые отклонения температуры от номинального значения для котлоагрегата со средними параметрами составляют от +10 до -15 °С.

Указанные отклонения температуры перегретого пара для котлоагрегатов без промперегрева должны быть выдержаны в диапазоне нагрузок от 70 до 100% номинальной производительности, а для котлоагрегатов с промперегревом – от 80 до 100% номинальной производительности.

Основным возмущающим воздействием на температуру перегретого пара является изменение нагрузки котлоагрегата, сопровождаемое изменением количества топлива, подаваемого в топку котла. Как известно, при снижении нагрузки удельное тепловосприятие радиационных поверхностей нагрева повышается, конвективных – уменьшается.

Удельное тепловосприятие поверхностей нагрева, которые расположены в полурadiационной зоне дымовых газов с температурой 1000-1200 °С в рабочем диапазоне изменения нагрузок, остается приблизительно постоянным. Поэтому, с уменьшением нагрузки перегрев пара в радиационных пакетах пароперегревателя увеличивается, а в конвективных – уменьшается. Соответствующим подбором степени радиационности пароперегревателя, т.е. доли тепловосприятия его радиационной части, теоретически можно добиться постоянства перегрева во всем диапазоне рабочих нагрузок. Тем не менее, такой пароперегреватель не обеспечивает постоянства перегрева даже при неизменной нагрузке котлоагрегата в связи с тем, что его тепловосприятие в процессе эксплуатации может изменяться в связи с загрязненностью экранных и конвективных поверхностей нагрева, изменения влажности и тонины помола топлива, изменения температуры питательной воды и т. д. Также на температуру перегретого пара оказывают большое влияние такие возмущения, как незакономерные изменения подачи

топлива при заданной нагрузке, изменение тяго-дутьевого режима и т.п. В связи с этим в современных котлоагрегатах обязательно предусматриваются устройства для регулирования температуры перегретого пара.

1.3 Состояние автоматизации парогенератора на данный момент

Стандартная система автоматического управления парогенератором Томской ГРЭС-2 состоит из локальных АСР:

- АСР уровня воды в барабане (питания);
- АСР тепловой нагрузки (топлива);
- АСР воздуха;
- АСР разрежения;
- АСР температуры перегретого пара;
- АСР непрерывной продувки;
- АСР давления пара на обдувку;
- АСР разрежения перед мельницами;
- АСР температуры аэросмеси за мельницей;
- АСР загрузки мельниц.

Даная структура является морально и технически устаревшей и не используется при проектировании современных АСУ, а также не даёт возможности оптимального управления парогенератором, т.к. контуры системы разделены между собой и не имеют единого аппаратного пространства. Все вышеперечисленные АСР базируются на аналоговой технике не позволяющей реализовывать набор функций в одном небольшом контроллере.

Основная тенденция развития автоматизированных систем – объединение локальных АСР. Их цель – создание комплексных систем, сочетающих автоматизацию решения экономических задач и задач административного управления с автоматизацией управления технологическими процессами, проектирования изделий и технологии.

Повышение научно-технического уровня и эффективности АСУ создало предпосылки для разработки систем более высокого класса –

многоуровневых интегрированных автоматизированных систем управления – ИАСУ.

ИАСУ включает АСУП – организационно-управленческую сторону производственной деятельности; АСУТП – технико-технологическую сторону производственной деятельности и САПР – конструкторско-технологическую сторону производственной деятельности.

Эти элементы взаимосвязаны и образуют единый контур организационно-экономического управления.

«Мозгом» АСУ является система быстродействующих ЭВМ. На ЭВМ возлагаются функции информирования, справочные, советующие, а также функции контроля производственного процесса.

Регулируемым параметром в данной ВКР является температура. Важно не просто измерять температуру, но и своевременно реагировать на происходящие изменения, а зачастую и предсказывать возможность появления каких – либо отклонений в процессе, избегая опасных аварийных ситуаций, незапланированных остановок производства и, как следствие, снижения эффективности работы предприятия. В таких условиях вопрос интеллектуальности средств измерения температуры является особенно актуальным.

1.4 Обзор и выбор структуры автоматической системы регулирования температуры перегретого пара

Рассмотрим три способа воздействия на температуру перегретого пара [4].

А) Смешивание

Этот способ предполагает, что в пар впрыскивается вода или пар с более низким теплосодержанием. Пароохладитель (ПО) устанавливают в рассечку отдельных ступеней пароперегревателя (ПП), чтобы защитить регулируемый пакет от высоких температур. ПП проектируется таким образом, чтобы при самых больших возмущениях, направленных в сторону уменьшения температуры перегретого пара, этот параметр был равен или больше заданного.

Впрыск может осуществляться питательной водой (при надлежащем качестве питательной воды), конденсатом паровых турбин (этот способ требует установки плунжерных насосов для создания нужного напора), собственным конденсатом или паром с меньшим теплосодержанием.

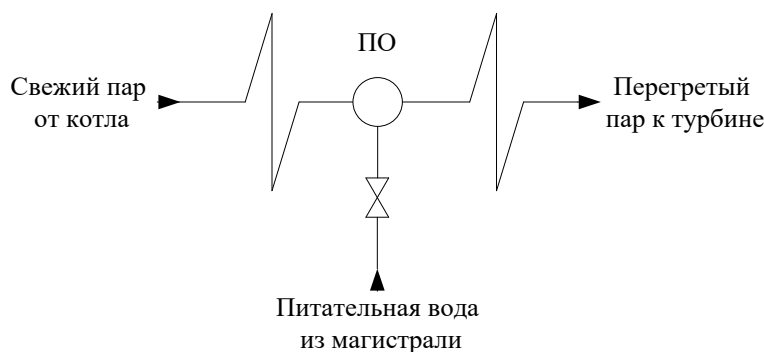


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема реализации впрыска питательной воды:

ПО – пароохладитель [4].

Принципиальная схема реализации впрыска питательной воды представлена на рисунке 1.2. Давление в ПО меньше, чем в питательной магистрали, т.к. парогенератор представляет собой гидравлическое

сопротивление и питательная вода «самотеком» впрыскивается в пароохладитель, где смешивается с паром.

В том случае, если качество питательной воды не является достаточным, применяется впрыск «собственного» конденсата. Схема, реализующая этот способ, представлена на рисунке 1.3.

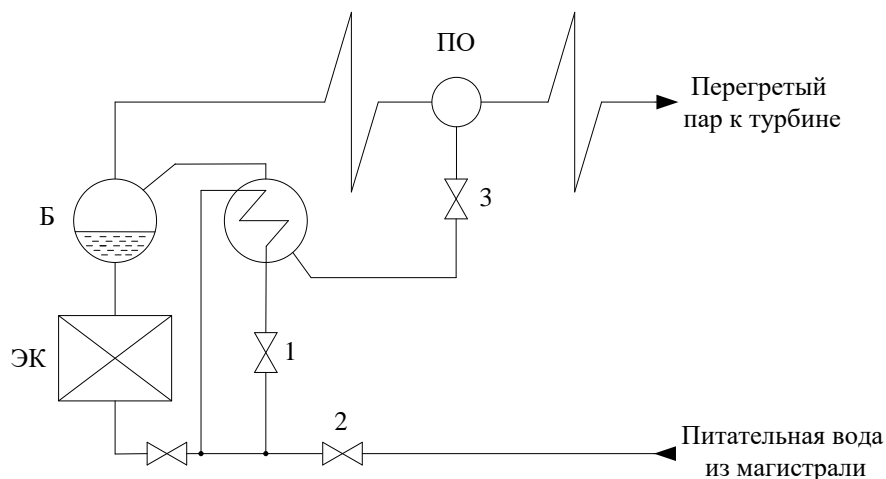


Рисунок 1.3 – Схема реализации впрыска «собственного» конденсата: ПО – пароохладитель, Б – барабан, ЭК – экономайзер, 1 – подпорный клапан, 2, 3 – регулирующие клапаны [4].

Насыщенный пар поступает в специальный теплообменник, через трубки которого проходит относительно холодная питательная вода. Для создания давления служит подпорный клапан 1. Насыщенный пар конденсируется в теплообменнике и, т.к. существует разница давлений в барабане и ПО, образовавшийся конденсат «самотеком» впрыскивается в ПО. Регулирующий клапан 2 служит для изменения расхода питательной воды через теплообменник. Клапан 3 – регулирующий клапан впрыска. Описанная схема обладает свойством саморегулирования: при изменении нагрузки котла изменяется тепловосприятие конвективных поверхностей нагрева, повышение нагрузки приводит к повышению температуры перегретого пара и наоборот.

Впрыск пара с меньшим теплосодержанием осуществляется байпасированием пара через необогреваемый байпас. Схема реализации

байпасирования представлена на рисунке 1.4. Обычно этот способ применяется для регулирования температуры вторичного пара.

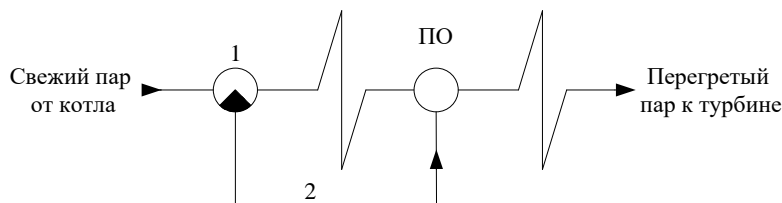


Рисунок 1.4 –Схема реализации байпасирования пара:

1 – двухходовой регулирующий клапан, 2 – необогреваемый байпас [4].

Б) Поверхностное охлаждение

Схема реализации поверхностного охлаждения перегретого пара представлена на рисунке 1.5. В рассечку отдельных ступеней пароперегревателя устанавливается поверхностный теплообменник, по трубкам которого циркулирует относительно холодная питательная вода.

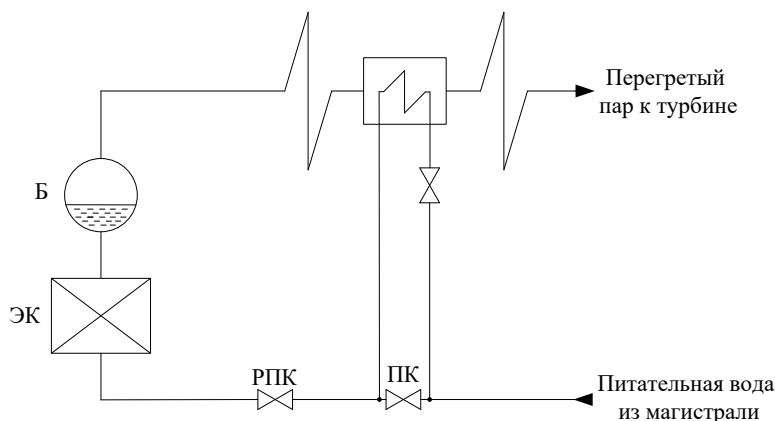


Рисунок 1.5 – Схема реализации поверхностного охлаждения перегретого пара:

Б – барабан, ЭК – экономайзер, ПК – подпорный клапан [4].

Подпорный клапан ПК служит для для создания разности давлений, обеспечивая движение воды через теплообменник. Поступающий в теплообменник пар соприкасается с трубами и его температура уменьшается.

Поверхностный пароохладитель весьма инерционен, а поэтому качество регулирования температуры с таким пароохладителем достаточно низкое.

Схемы с впрыскивающим пароохладителем обладают благоприятными динамическими свойствами – отсутствием инерционности и запаздывания. Исходя из предположения, что питательная вода ненадлежащего качества, выбираем схемы впрыска собственного конденсата.

Схема регулирования температуры перегретого пара с динамической коррекцией представлена на рисунке 1.6.

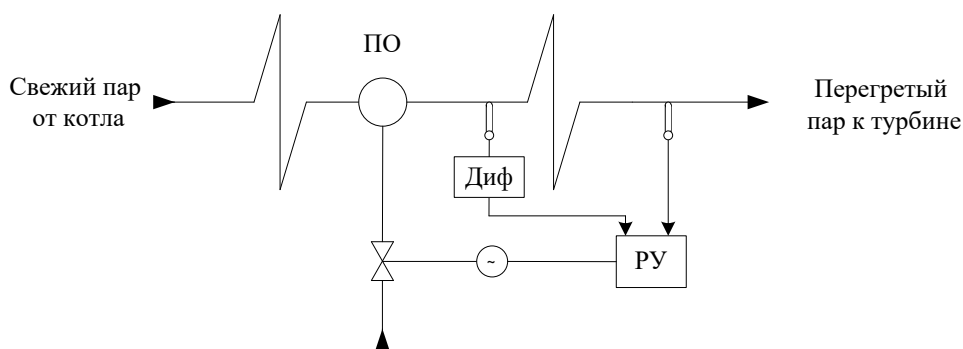


Рисунок 1.6 –Схема АСР температуры перегретого пара [4].

Исходя из достоинств и недостатков всех методов, можно определить, что самым оптимальным будет метод смешения или впрыска. Этот метод является самым распространенным и наименее затратным, а также у него высокая точность. Другие методы не подходят. В методе поверхностного охлаждения используется сложная конструкция, которая делает этот метод дороже. Метод воздействия на тепловосприятие подходит только для определенного топлива (жидкого и газообразного), поэтому он не является распространенным. На основании выбранной структуры регулирования разрабатывается структурная схема.

2 Разработка системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140

2.1 Выбор схемы регулирования

В настоящее время в автоматических системах регулирования применяются микропроцессорные контроллеры, позволяющие выполнять множество функций, в том числе и дифференцирование. С учётом этих особенностей структурная схема системы примет вид, как представлена на рисунке 2.1.

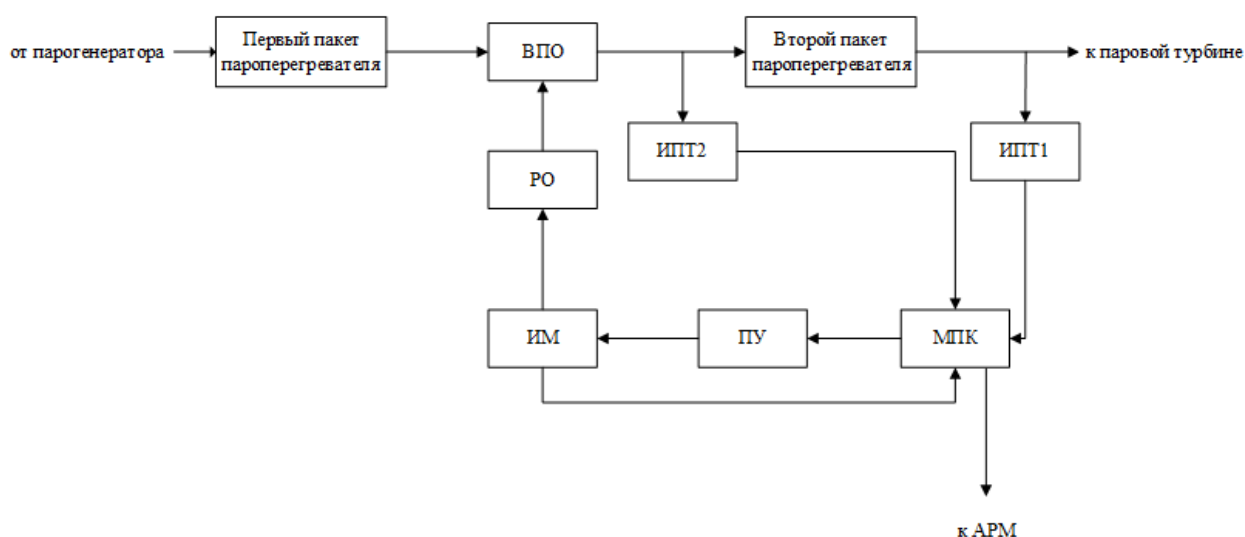


Рисунок 2.1 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара на базе микропроцессорного программируемого контроллера:

ИПТ1, ИПТ2 – измерительные преобразователи температуры; МПК – микропроцессорный программируемый контроллер; РО – регулирующий орган; ИМ – исполнительный механизм; ПУ – пусковое устройство.

При помощи измерительных преобразователей информация о текущем значении температуры регулируемого пара передается на МПК. С помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя процессор обрабатывает сигналы и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на пусковое устройство. Пусковое устройство усиливает

аналоговые сигналы, которые поступают на ИМ. Вал ИМ вращается и, следовательно, меняется положение РО.

2.2 Проектная разработка системы управления

2.2.1 Проектирование функциональной схемы АСР температуры перегретого пара

Основной технический документ, который определяет функционально-блочную структуру узлов контроля, регулирования и управления технологическим процессом является функциональная схема систем измерения и автоматизации. Функциональная схема также включает в себя оснащение приборами и средствами автоматизации объекта управления.

В процессе разработки функциональной схемы выполнены следующие задачи:

- 1) изучение технологической схемы объекта автоматизации;
- 2) определение перечня контролируемых и регулируемых параметров, а также регулирование технологического процесса и оборудования. Перечень регулируемых параметров представлен в таблице 2.1. Регулируемый параметр - температура перегретого пара после второго пакета пароперегревателя;
- 3) указание месторасположения точек отбора измерительной информации. На технологической схеме точки отбора информации расположены после впрыскивающего парохладителя (ВПО) и перед главной паровой задвижкой (ГПЗ);
- 4) определение предельно допустимых рабочих значений контролируемых и регулируемых параметров (таблица 2.1);
- 5) выбор структуры измерительных каналов информационно-управляющей и исполнительной частей системы автоматизации: в состав структуры каналов измерительной части входит первичный преобразователь температуры без нормирующего преобразователя, в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит

МПК, с состав структуры исполнительной части входят пусковое устройство и исполнительный механизм;

- б) выбор методов и технических средств получения, преобразования, представления и передачи измерительной информации, а также технических средств выработки управляющих воздействий. Выбран контактный метод измерения температуры перегретого пара посредством термоэлектрического преобразователя (ТЭП), т.к. термопреобразователи сопротивления (ТПС) медные не могут обеспечить измерение температуры до 600 °С, а платиновые ТПС дорогие. Для реализации функций контроля и управления используется микропроцессорный программируемый контроллер;
- 7) размещение технических средств автоматизации (ТСА) на технологическом оборудовании: первичные преобразователи температуры расположены непосредственно на технологическом оборудовании, пусковое устройство находится в шкафу пусковой арматуры, МПК расположен в шкафу управления и автоматики.

Таблица 2.1 – Контролируемые параметры

Наименование параметра	Значение параметра
1. Температура пара на входе пароперегревателя	540 °С
2. Температура пара на выходе пароперегревателя	560 °С

Функциональная схема АСР температуры перегретого пара представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.007 С2 .

В верхней части чертежа функциональной схемы представлен участок трубопровода от первого пакета пароперегревателя до ГПЗ. Между пакетами перегревателя установлен ВПО. Технологические объекты выполнены в виде условных графических изображений. Также вверху чертежа располагаются

измерительные преобразователи температуры и запорная арматура. Внизу чертежа показано пусковое устройство, установленное по месту, а также МПК, который установлен на щите автоматизации.

С термоэлектрических преобразователей 1а и 2а сигнал в виде термо-ЭДС поступает на МПК. В свою очередь МПК по заданной программе формирует и выдает управляющее воздействие. Сигнал с МПК поступает на пусковое устройство 3б. Пусковое устройство усиливает аналоговый сигнал и передает его на исполнительный механизм 3в. В исполнительный механизм встроен блок датчиков положения, который может передавать информацию о положении вала исполнительного механизма на контроллер [3].

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403 – 80, условные обозначения запорной арматуры изображены по ГОСТ 2.785 – 70, первичные и функциональные измерительные приборы – в соответствии с ГОСТ 21.404 – 85.

2.2.2 Выбор технических средств АСР температуры перегретого пара

Выбор оборудования осуществляется с учетом всех характеристик измеряемой среды и технологических особенностей измеряемого процесса. Совокупность технических средств АСР основана на серийно выпускаемых средствах автоматизации и считается достаточным для реализации всех функций АСР.

2.2.2.1 Выбор измерительного преобразователя температуры перегретого пара

В автоматической системе регулирования температуры перегретого пара температура измеряется после впрыскивающего пароохладителя и второго пакета перегревателя. Для измерения температуры используются термоэлектрические преобразователи. Рассмотрим несколько возможных вариантов для датчиков температуры.

В качестве датчиков температуры может использоваться аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом. Датчик температуры выбираем по каталогу завода-изготовителя «ОВЕН». По подходящим конфигурациям выбираем преобразователи температуры типа ОВЕН ДТПК045М-0110.045.И[9] [5].

ДТПК045М-0110.045.И[9] предназначены для измерения высоких температур различных сред, в том числе и агрессивных сред.

Диапазоны измеряемых температур: $40 \div 800$ °С.

Класс допуска 2. Рабочий спай термопары изолирован относительно корпуса датчика.

Другой вариант - преобразователь типа ТХАУ 205 с НСХ ХА(К) производства ООО НПО «Элемер» [6]. По техническим характеристикам он не уступает ОВЕН ДТПК-045Л.И, но стоимость преобразователей типа ТХАУ 205 выше стоимости преобразователей типа ДТПК045М-0110.045.И[9].

Еще одним вариантом может быть термоэлектрический преобразователь ТХА-1393-02 фирмы ОАО «Теплоприбор» [7]. Его выходной сигнал не является унифицированным, и это повышает надежность оборудования. Измерение температуры происходит в тяжелых условиях при внешних и механических воздействиях и высокой температуре.

Таким образом, в качестве измерительного преобразователя выбираем ТХА-1393-02[9], так как он удовлетворяет условиям и соответствует техническим характеристикам, а также его цена является оптимальной.

ТХА-1393-02 имеет 2 чувствительных элемента, рабочий спай изолирован. Защитная арматура - со штуцером М20х1.5, с утонением арматуры в зоне измерения до 8 мм (малоинерционные), материал - сталь 12Х18Н10Т 10 мм, материал головки - терморезистивная пластмасса АГ-4В.

На трубопроводе монтаж термопары осуществляют под углом 45°. Место установки термоэлектрического преобразователя выбирается таким образом, чтобы обеспечить точность замера температуры перегретого пара.

Еще одно важное условие при монтаже – чувствительный элемент должен быть направлен навстречу потоку пара и находиться в центре потока. Способ монтажа термоэлектрического преобразователя представлен на рисунке 10 [7].

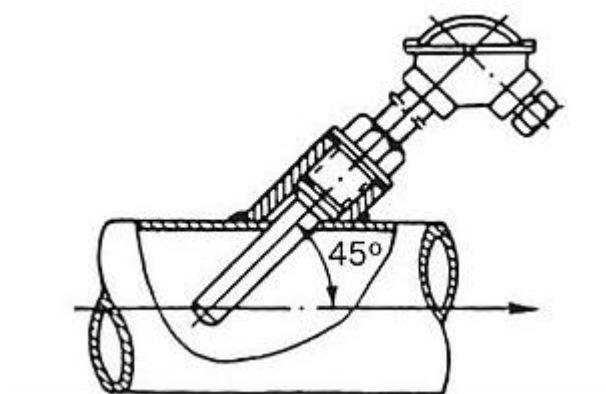


Рисунок 2.2 – Способ монтажа термоэлектрического преобразователя на трубопроводе

2.2.2.2 Выбор исполнительного механизма

Исполнительные механизмы (ИМ) предназначены для перемещения регулирующего органа и являются его приводной частью. В автоматизации объектов теплоэнергетики чаще всего используют электрические ИМ. Преимущественно электрический ИМ включает электродвигатель и редуктор, которые вместе представляют собой электропривод, блок датчиков положения и штурвал. Блок датчиков состоит из блока концевых и путевых выключателей, а также датчика положения ИМ. Концевые выключатели выполняют функцию отключения электродвигателя при достижении крайних положений выходного вала ИМ. Путевые выключатели позволяют коммутировать электрические цепи управления под воздействием управляющих упоров в определённых точках пути контролируемого объекта. В зависимости от назначения в комплекте ИМ имеются различные датчики положения: реостатные (резистивные), индуктивные, токовые [8].

Тип трубопроводной арматуры определяет тип ИМ. ИМ бывают нескольких видов: МЭО – однооборотный, МЭОФ – однооборотный

фланцевый, МЭП – прямоходный постоянной скорости. В данной работе предполагается использование запорно-регулирующего крана, который позволяет управлять интенсивностью потока воды на смешивание либо надежно перекрывать его. Следовательно, тип ИМ – МЭОФ.

Исполнительный механизм выбирается не только из вида регулирующего органа, но и от крутящего момента.

Максимальный крутящий момент МЭО вычисляется по формуле:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338; \quad (2.1)$$

$$M_{\max} = 6.89 \cdot 160 - 338 = 764,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где D_y - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе ИМ типа МЭО должно выполняться условие $M_H > M_{\max}$. Далее выбираем по каталогу завода-изготовителя «АБС ЗЭиМ Автоматизация» механизм электроисполнительный однооборотный фланцевый с номинальным значением момента на выходном валу 1000 Н·м, номинальное значение времени полного хода 25 с. В составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала БД-10АМ; год разработки – 2007. ОАО «ЗЭиМ», г. Чебоксары. Тип МЭОФ–1000/25–0,25-07К [9].

Установка фланцевых механизмов производится непосредственно на трубопроводной арматуре и соединяются с регулирующим органом посредством фланца.

Конструкция исполнительного механизма МЭОФ-1000/25-0,25 представлена на рисунке 2.3 [9].

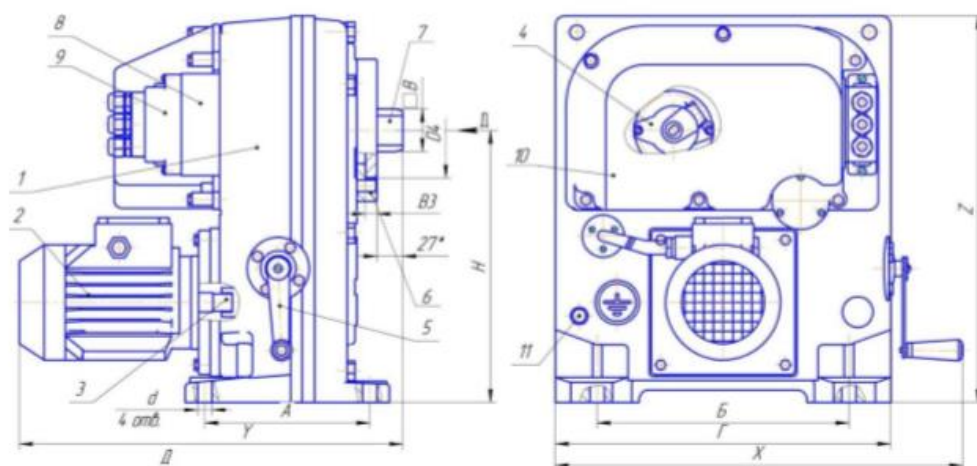


Рисунок 2.3 – Конструкция МЭОФ-1000/25-0,25:

1 – редуктор; 2 – электродвигатель; 3 – тормоз; 4 – блок сигнализации положения; 5 – ручной привод; 6 – фланец; 7 – выходной вал; 8 – ввод штуцерный; 9 – кожух штуцерного ввода; 10 – кожух; 11 – болт заземления.

Электрическое питание двигателя механизма МЭОФ с номинальным крутящим моментом 1000 Н·м осуществляется от сети переменного тока напряжения 380 В с частотой 50 Гц [9].

Блок датчиков МЭОФ состоит из датчиков положения, а также имеет концевые и путевые выключатели, представляющие собой дискретные уставки по положению и моменту [9].

2.2.2.3 Выбор пускового устройства

Тип пускового устройства определяется по выбранному ИМ. Выбираем пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А, обеспечивающий бесконтактное управления регулирующими и запорными электроприводами трубопроводной арматуры [10].

Другим вариантом ПУ может выступать БУЭР1-30-02 [11], который может управлять ИМ с трехфазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу. Может выполнять функции управления электродвигателем (пуск, реверс, останов), самодиагностику, диагностику ИМ, защиту силовых ключей от короткого замыкания, защиту от перегрузки по току. По объему выполняемых функций

БУЭР1-30-02 превосходит ПБР-3А, стоимость БУЭР1-30-02 также выше, чем ПБР-3А. Поэтому в качестве пускового устройства выбран более надежный в эксплуатации тяжелых условиях ПБР-3А.

От блока датчиков по аналоговому сигналу пускатель получает информацию о положении выходного органа электропривода, моменте, перегреве электродвигателя, состоянии и неисправности блока датчиков, состоянии виртуальных концевых и путевых выключателей, а также на запросы включения электропривода при местном от блока датчиков управления. При отсутствии связи, неготовности, неисправности блоков датчиков пускатель выключает электродвигатель.

2.2.2.4 Выбор регулирующего устройства

На сегодняшний день микропроцессорные программируемые контроллеры (МПК) являются неотъемлемой частью систем автоматизации, так как обладают рядом преимуществ (компактность, надежность, реализация сложных алгоритмов управления программными методами и др.). При этом есть возможность исключения таких устройств как блоки ручного управления, ручные задатчики регулируемого параметра, т.к. их функции может выполнять контроллер.

Различают следующие виды контроллеров: моноблочные, модульные, РС-совместимые контроллеры. РС-совместимые контроллеры отличаются от классических контроллеров тем, что в них большинство функций, которые у модульных или моноблочных контроллеров решаются на аппаратном уровне, могут выполняться с помощью программного обеспечения.

Для выбора МПК рассмотрим несколько вариантов.

1) ОВЕН ПЛК 63 производства ООО «ОВЕН» [12].

Назначение контроллера:

— автоматическое регулирование и измерение технологических параметров, значение которых первичными преобразователями может

- быть преобразовано в унифицированный электрический сигнал постоянного тока, а также сигнала с термопар;
- измерение аналоговых электрических сигналов;
- измерение входных дискретных сигналов;
- управление посредством дискретных выходов;
- обмен данными по интерфейсам RS-485, RS-323, OВЕН, а также Ethernet по протоколам ModBus, DCON, CODESYS.

Применение контроллера может осуществляться для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, а также в различных областях промышленности.

Питание контроллера осуществляется от сети питания переменного тока 220 В. Количество аналоговых входов – 8, количество дискретных входов – 8, количество дискретных выходов – 6. Полное время преобразования сигнала с термопары – 0,4 с. Габаритные размеры – 157x86x58 мм

Возможно расширение количества точек ввода/вывода с помощью подключения внешних модулей по любому из встроенных интерфейсов [12].

2) Ремиконт Р-130 производства «АБС ЗЭиМ Автоматизация» [13].

Ремиконт Р-130 является компактным микропроцессорным контроллером, который предназначен для автоматического регулирования технологическими процессами. В модели Ремиконт Р-130 предусмотрено:

- до 4 контуров регулирования;
- более 76 алгоритмов непрерывной и дискретной обработки зашитых в ПЗУ;
- до 99 алгоблоков со свободным их заполнением любыми алгоритмами из библиотеки;

Контроллер программируется в среде ISaGRAF. Также в контроллере имеются два канала для подключения к сетям Ethernet и Modbus-RTU, также имеется канал с интерфейсом RS-232 для организации резервирования, а также программирования контроллеров. Встроенное программное

обеспечение позволяет выполнить проверку работоспособности и настройку контроллеров. Питание контроллера осуществляется от сети питания переменного тока 220 В или 240 В. Габаритные размеры блока контроллера – 80x160x365 мм.

3) МФК 1500 производства НПО «Текон-Автоматика» [14].

Многофункциональный высокопроизводительный программируемый контроллер МФК1500 предназначен:

- для построения управляющих и информационных систем автоматизации технологических процессов среднего и большого (по числу входов-выходов) уровня сложности;
- для построения систем блокировок и противоаварийной защиты.

Контроллер применяется для сбора и обработки информации, а также для управления объектами в схемах автономного управления или в составе распределенной системы управления.

Отличительной особенностью контроллера является то, что одна из главных областей применения это АСУ ТП энергоблоков, котлов и других объектов теплоэнергетики.

Основные особенности контроллера:

- резервирование ресурсов и модулей: полное или частичное;
- построение контроллера, состоящего из одного, двух, трех крейтов (всего до 61 модуля УСО с максимальным количеством 2928 дискретных входов или 976 аналоговых входов);
- «горячая» замена модулей;
- продвинутая система диагностики;
- постоянный контроль и квитирование выполнения команд;
- дублированная контроллерная магистраль;
- дублированная система питания контроллера и модулей внутри него;

- дублированный интерфейс Ethernet 100 Base-T;
- высокий уровень гальванической изоляции входных цепей модулей;
- измерение сигналов датчиков производится с высокой точностью;
- предварительная обработка информации в модулях;
- питание датчиков (4...20 мА) может быть осуществлено от модулей контроллера;
- ввод сигналов 220 VAC, 220 VDC непосредственно в модули контроллера;
- расширенные средства конфигурирования модулей УСО и ресурсов модуля ЦП.

Контроллер ОВЕН ПЛК 63 по стоимости почти в два раза дешевле, чем Ремиконт Р-130, а по характеристикам не уступает ему. Тогда как МФК 1500 превосходит по характеристикам и оба этих контроллера, но его стоимость также выше. Оптимальным вариантом выбора будет контроллер ОВЕН ПЛК 63 так он походит по эксплуатационным характеристикам и ценовому фактору для данной системы регулирования.

Были рассмотрены регулирующие устройства отечественных фирм «ОВЕН», «АБС ЗЭиМ Автоматизация» и «Текон-Автоматика», т.к. эти фирмы являются лидерами на рынке микропроцессорных контроллеров, а также они зарекомендовали себя как поставщики надежных приборов контроля, а также регулирующих устройств.

На основе сделанного выбора технических средств составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а ... 2а	Преобразователь термоэлектрический, диапазон измерения 40 ... +800 °C, основная погрешность измерения ±2.5 °C, НСХ К(ТХА). ОАО «Теплоприбор», г. Челябинск.	ТХА-1393-02	2
3а	Контроллер программируемый, логический, микропроцессорный, количество входов – 8 аналоговых и 8 дискретных, количество выходов – 6 (1 – э/м реле, 4 А, 220 В; 5 – ЦАП, 0...10 В). ОАО «ОВЕН», г. Москва.	ОВЕН ПЛК 63	1
3б	Пускатель бесконтактный реверсивный, входной сигнал управления 24 ± 6 В, климатическое исполнение УХЛ 4.2. ОАО «АБС ЗЭиМ», г. Чебоксары.	ПБР-3А	1
3в	Механизм электроисполнительный однооборотный. в составе с блоком сигнализации положения выходного вала таковым БСПТ-10АМ с унифицированным сигналом 4-20 мА и выносным блоком питания БП20-АМ. Питание 220 В. ОАО «ЗЭиМ», г. Чебоксары.	МЭОФ-1000/25-0,25-07К	1

					ФЮРА.421000.007 С01			
Исполнил	Мартова С.В.				Спецификация приборов и средств автоматизации	Стад	Лист	Листов
Проверил	Кац М.Д.					ТРП	1	1
						ТПУ НОЦ ИШЭ им. Бутакова Группа 564В		

2.2.3 Проектирование принципиальной схемы АСР температуры перегретого пара

Принципиальные электрические схемы предназначены для полного состава приборов, аппаратов и устройств, действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы это основные чертежи для разработки рабочих монтажных чертежей, проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия.

Для разработки принципиальной электрической схемы был выполнен ряд действий:

- 1) нанесены на схему технические средства автоматизации на основе информации полученной в ходе разработки функциональных и структурных схем;
- 2) произведено соединение проводок с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;
- 3) произведена нумерация проводников.

При выполнении схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического и текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

В данном разделе была разработана схема электрическая принципиальная АСР температуры перегретого пара, приведенная на первом листе с шифром ФЮРА.421000.007 ЭЗ.

При разработке принципиальных электрических схем нужно производить обозначение цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения. Это значительно упрощает чтение электрических схем и эксплуатацию электрических установок. Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева направо. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 - 100, для цепей питания 101 - 200.

Электропитание всех технических средств осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц.

Термоэлектрические преобразователи В1 и В2 преобразуют измеряемые величины в унифицированные токовые сигналы 4 – 20 мА, которые поступают на соответствующие входы контроллера А2, подключения средств измерения осуществлено в соответствии с требованием производителя [12]. Подключение ТЭП В1 и В2 производится с помощью прецизионных резисторов R3 и R4, сопротивление которых 500 Ом [15].

Контроллер А2 обрабатывает информацию, полученную с датчиков В1 и В2. На основе программно заданных алгоритмов формирует управляющий сигнал, который передается на блок управления А1 посредством цифрового интерфейса RS-485. Причем, для согласования линии используют терминальный (концевой) резистор R1. Для систем промышленной автоматики сопротивление согласующего резистора выбирается равным 120 Ом, мощность - 0,25 Вт [16]. Резистор ставят на конце или в начале линии.

В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления А1 коммутируют цепи нагрузки обмотки электродвигателя исполнительного механизма М1.

Сигнал обратной связи о положении регулирующего органа микроконтроллер А2 получает с блока сигнализации положения токового, который подключен непосредственно к контроллеру А2 [17].

Схема электрическая принципиальная АСР температуры перегретого пара приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.007 Э3.

2.2.4 Проектирование монтажной схемы АСР температуры перегретого пара

Монтажная документация предназначена для выполнения монтажных работ. Эту документацию также используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. Для сложных систем автоматизации отдельно выполняют монтажные схемы щитов, пультов, внешних электрических и трубных проводок. В нашем случае система не большая, монтажные схемы внешних электрических проводок и щита управления выполнены на одном листе с шифром ФЮРА.421000.007 Э4.

Монтажная документация, разрабатываемая в процессе проектирования систем автоматического регулирования, включает в себя:

- 1) монтажную документацию щитов и пультов;
- 2) монтажную документацию внешних электрических и трубных проводок.

Монтажные схемы, показывают каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных:

- 1) на конструкции;
- 2) за пределами конструкций.

Для разработки монтажной документации используются следующие материалы:

- 1) функциональная схема;
- 2) принципиальная электрическая схема;
- 3) техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации и других средств:

- техническое описание;
 - инструкция по эксплуатации;
- 4) общие виды щитовых и других конструкций.

В выпускной квалификационной работе необходимо разработать монтажную схему автоматической системы регулирования температуры перегретого пара, для этого нужно выполнить следующие этапы:

- 1) нанести на монтажную схему технические средства автоматизации в соответствии с принятыми обозначениями;
- 2) выбрать проводки для соединения технических средств;
- 3) произвести нумерацию проводников в соответствие с электрической схемой;
- 4) выполнить подключения средств измерения и управления в шкаф автоматизации.

На схеме сверху поля чертежа представлена таблица с поясняющими надписями. Под этой таблицей расположены изображения измерительных преобразователей, устанавливаемых непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

Датчики температуры и исполнительный механизм изображены монтажными символами в соответствии с заводскими инструкциями. При этом внутри монтажных символов указаны номера зажимов, и подключение к ним жил кабелей, причем, изображены только использующиеся клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа.

Щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижней части чертежа. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним жилы кабелей и провода с соответствующей маркировкой.

Измерительные преобразователи, исполнительные механизмы и пусковые устройства, и шкаф управления соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с помощью электрических кабелей.

К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов.

Цель проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок это создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации и вспомогательным элементам, проверки проводок и ввода их в эксплуатацию.

Для линий питания выбираем кабели с алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением $2,5 \text{ мм}^2$ с броней из двух стальных оцинкованных лент.

Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 2.3 [18].

Таблица 2.3 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСР

№ линии	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм^2
4	АКРВБГ	4	2,5
1, 2, 5, 6, 7	КРВГ	4	1
3	КРВБГ	4	1
8	КИПЭВ	2	0,6

Кабеля необходимо протянуть на внушительные расстояния, для этого применяются защитные трубы. В качестве защиты кабелей были выбраны стальные электросварные тонкостенные трубы по ГОСТ 10704-91, которые могут применяться в сухих и влажных помещениях, а также при открытой и скрытой прокладке в жарких, пыльных пожароопасных помещениях. Для кабелей линий питания защитные трубы не выбираются, так как кабели изначально бронированные.

Схема монтажная представлена на листе формата А3 с шифром ФЮРА.421000.007 С4.

Изображение контроллера 3а условно сплошной линией в виде упрощенного контура только с клеммами, которые используются. При входе в щит автоматизации установлен клеммный блок ХТ2.

Термоэлектрические преобразователи подключаются к соединительной коробке КСК-8 с помощью кабелей КРВГ 4×1, а далее собираются в единые кабели КРВГ 4×1, которые подключаются в щит автоматизации.

2.2.5 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР

Назначение щита автоматизации заключается в размещении на нем средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линий связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Установка щитов автоматизации происходит в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной, односекционный с задней дверью (ЩШ-ЗД) исполнения 2.

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса разместим в необходимом и достаточном количестве на щите контроллер и сборки зажимов.

В данном случае для размещения средств автоматизации используем щит с задней дверью одиночный, шириной 600 мм и глубиной 600 мм – ЩШ-ЗД-II-600×600 [20]. Фасадная сторона щитов (шкафных и панельных с каркасом) разбита на два (исполнение 1) или на три (исполнение 2) функциональных поля. Разбивка выполнена на основе рационального распределения приборов, органов управления и сигнальной арматуры. При проектировании щитов систем автоматизации технологических процессов рекомендуется в первую очередь применять щиты исполнения 2. Фасадные панели этого исполнения наиболее технологичны в изготовлении благодаря минимальным размерам и применению автоматизированного процесса пробивки отверстий в них.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, перечень составных частей.

Блок контроллера 4 рассчитан на утопленный монтаж на вертикальной панели щита управления.

В нижней части панели щита расположена сборки зажимов ХТ2.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.007 ВО.

3 Расчет АСР температуры перегретого пара

К АСР температуры перегретого пара предъявляются жесткие требования к точности поддержания параметра на заданном значении. Допустимые отклонения температуры от номинального значения для котлоагрегатов со средними параметрами составляют от $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для котлоагрегатов с высокими и повышенными параметрами от $+5$ до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [21].

Этапы расчета АСР температуры перегретого пара:

- расчет статических характеристик элементов системы;
- расчет динамических характеристик объекта регулирования;
- расчет оптимальных настроек регулятора и дифференциатора;
- расчет и построение переходного процесса в замкнутой АСР;
- оценка качества переходного процесса.

3.1 Расчет статических характеристик элементов системы

Статической характеристикой элемента называется зависимость установившихся значений выходной величины от значения величина на входе системы. Статическая характеристика нужна для расчета коэффициентов передачи элементов АСР. В АСР регулирования температуры перегретого пара определяют статические характеристики измерительного преобразователя и регулирующего органа впрыска.

3.1.1 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя

Коэффициент передачи термопары определяется при лабораторной поверке прибора, порядок выполнения поверки представлен [22]. Схема лабораторной установки приведена на рисунке 3.1.

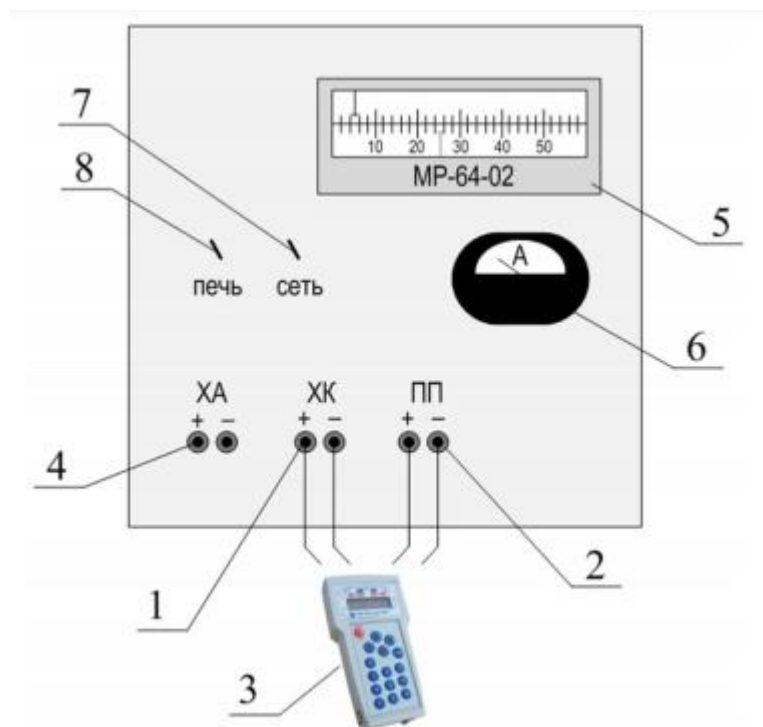


Рисунок 3.1 – Схема лабораторной установки : 1 – клеммы поверяемого ТЭП; 2 – клеммы эталонного ТЭП; 3 – эталонный калибратор; 4 – клеммы вспомогательного ТЭП; 5 – пирометрический милливольтметр; 6 – амперметр; 7 – тумблер включения питания установки; 8 – тумблер включения печи [22]

Экспериментальное определение заключается в определении ТЭДС при заданных значения температуры, при этом полученные градуировочные характеристики должны соответствовать номинальным статическим характеристикам ТЭП в пределах допускаемых отклонений ТЭДС.

В таблице 3.1 приведены результаты экспериментального определения статической характеристики термопары ТХА-1393-02 градуировки ХА.

Таблица 3.1 – Результаты экспериментального определения

Температура, $^{\circ}\text{C}$	500	510	520	530	540	550	560
Ток, мА	0	0,083	0,166	0,249	0,332	0,415	0,498

По таблице 3.1 строим зависимость тока от температуры (рисунок 3.2), из которой находится искомое значение K_T (мА/ $^{\circ}\text{C}$).

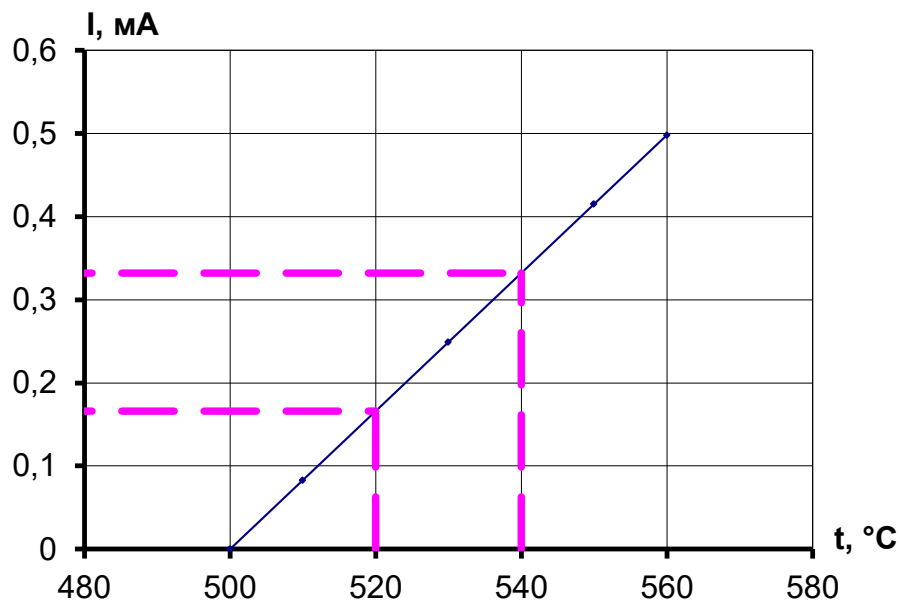


Рисунок 3.2 – Определение статической характеристики, где I – ток, T – температура

По графику определяем коэффициент передачи измерительного преобразователя

$$K_T = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{(0,332-0,166)}{(540-520)} = 0,0083 \text{ mA/}^\circ\text{C} . \quad (3.1)$$

3.1.2 Расчет коэффициента передачи регулирующего органа

В качестве регулирующего органа впрыска выступают регулирующий клапан дроссельного типа и пароохладитель.

Коэффициент передачи регулирующего органа K_{po} рассчитывается по формуле

$$K_{po} = K_{рпк} \cdot K_{по} , \quad (3.2)$$

где $K_{рпк}$ – коэффициент передачи регулирующего клапана; $K_{по}$ – коэффициент передачи пароохладителя.

3.1.2.1 Выбор характеристики и расчет коэффициента передачи регулирующего клапана

Характеристики регулирующих клапанов должны выбираться в зависимости от свойств регулируемого объекта и применяемого регулятора с тем, чтобы обеспечить оптимальную настройку последнего при переменных нагрузках объекта. Это осуществляется путем выбора конструктивной и расходной характеристик регулирующего органа. На рисунке 3.3 приведена расчетная схема линии впрыска.

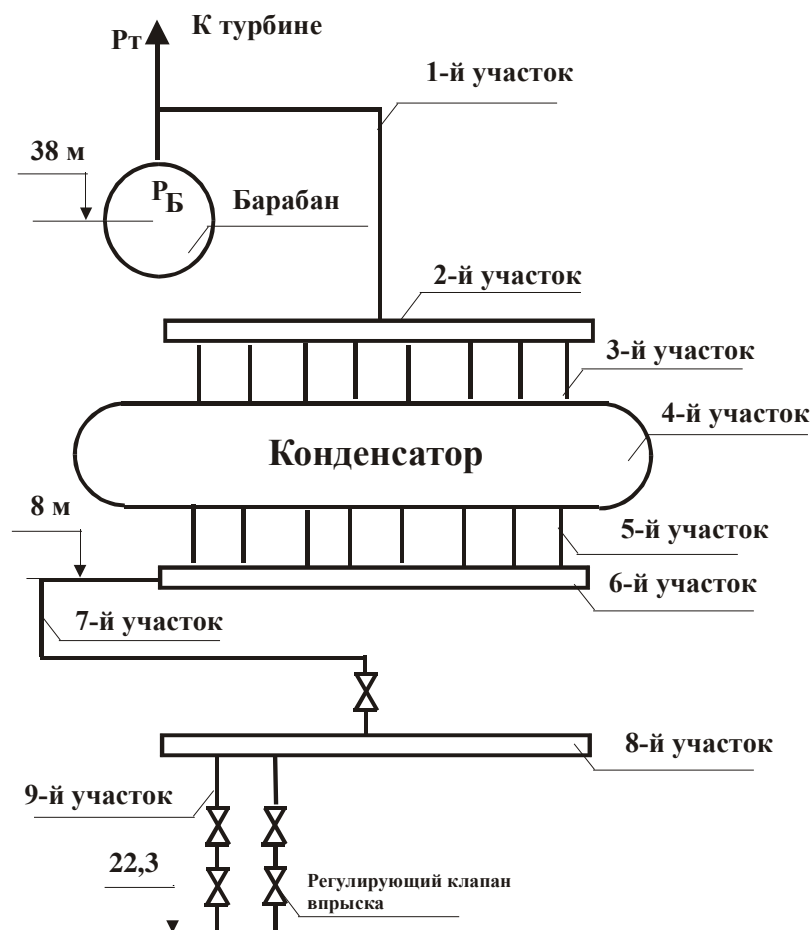


Рисунок 3.3 – Схема линии впрыска. Обозначения участков: 1-й участок: барабан – коллектор; 2-й участок: коллектор; 3-й участок: спуск к конденсатору; 4-й участок: конденсатор; 5-й участок: отвод конденсатора; 6-й участок: коллектор; 7-й участок: снижение к коллектору на отметке 8 м; 8-й участок: коллектор на отметке 8 м; 9-й участок: подъем к впрыскивающему охладителю первой ступени.

Расчеты приведены в приложении А.

Коэффициент передачи РПК находится из графика следующим образом: задаемся приращением расхода воды в окрестности выбранного режима работы котла $\Delta W = W_2 - W_1$; по графику расходной характеристики определяется соответствующее изменение относительного перемещения клапана $\Delta l = l_2 - l_1$; искомый коэффициент передачи клапана определяем по формуле:

$$K_{\text{рпк}} = \frac{\Delta W}{\Delta l \cdot 100\%} = \frac{1,92}{0,1 \cdot 100\%} = 0,192. \quad (3.3)$$

где 100% – коэффициент полного диапазона перемещения регулирующего органа.

3.1.2.2 Расчет коэффициента передачи пароохладителя

Находим значение температуры перегретого пара $t_{\text{пп}1}$ на выходе пароохладителя при минимальном расходе охлаждающей воды на впрыск. Для этого воспользуемся уравнением теплового баланса

$$D_{\text{пп}} \cdot i_{\text{пп}} + W_{\text{по},\text{min}} \cdot i_{\text{в}} = (D_{\text{пп}} + W_{\text{по},\text{min}}) \cdot i_{\text{пп},1}, \quad (3.4)$$

где $D_{\text{пп}}$ – расход перегретого пара из котла, т/ч;

$W_{\text{по},\text{min}}$ – минимальный расход воды на впрыск, т/ч;

$i_{\text{пп}}$ – энтальпия перегретого пара на входе в пароохладитель, кДж/кг;

$i_{\text{в}}$ – энтальпия охлаждающей воды, кДж/кг;

$i_{\text{пп},1}$ – энтальпия перегретого пара на выходе из пароохладителя, кДж/кг.

Из уравнения теплового баланса рассчитываем энтальпию перегретого пара

$$i_{\text{пп},1} = \frac{D_{\text{пп}} \cdot i_{\text{пп}} + W_{\text{по},\text{min}} \cdot i_{\text{в}}}{D_{\text{пп}} + W_{\text{по},\text{min}}} = \frac{216 \cdot 2431,575 + 4,8 \cdot 1277,58}{216 + 4,8} = 2406,48 \text{ кДж/кг}.$$

По величине энтальпии перегретого пара $i_{\text{пп},1}$ из таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [23] находим температуру на выходе пароохладителя $t_{\text{пп},1} = 327,67^\circ\text{C}$.

Находим значение температуры перегретого пара $t_{пп2}$ на выходе пароохладителя при максимальном расходе охлаждающей воды на впрыск.

Вычисляем энтальпию перегретого пара на выходе из пароохладителя $i_{пп,2}$ при максимальном расходе воды на впрыск

$$i_{пп,1} = \frac{D_{пп} \cdot i_{пп} + W_{по,min} \cdot i_{в}}{D_{пп} + W_{по,min}} = \frac{216 \cdot 2431,575 + 4,8 \cdot 1277,58}{216 + 4,8} = 2406,48 \text{ кДж/кг},$$

где $W_{по,max}$ – максимальный расход воды на впрыск, т/ч.

По величине энтальпии перегретого пара $i_{пп,2}$ из таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [23] находим температуру на выходе пароохладителя $t_{пп,2} = 326,94^\circ\text{C}$.

Производим расчет коэффициента передачи пароохладителя по формуле:

$$K_{по} = \frac{t_{пп,2} - t_{пп,1}}{W_{по,max} - W_{по,min}} = \frac{326,94 - 327,67}{24 - 4,8} = 0,04. \quad (3.5)$$

Знак коэффициента передачи пароохладителя будет отрицательным. При введении в АСР отрицательной обратной связи он будет меняться на противоположный.

Тогда коэффициент передачи регулирующего органа будет равен:

$$K_{ро} = K_{рпк} \cdot K_{по} = 0,192 \cdot 0,04 = 0,008.$$

3.2 Расчет динамических характеристик объекта регулирования

Для исследования динамики объекта регулирования в настоящее время используются аналитический и экспериментальный методы. Аналитические методы определения динамических характеристик регулируемых объектов широкого распространения не получили в силу своей сложности. В настоящее время наиболее достоверными и легкодоступными для работников промышленных предприятий являются методы экспериментального определения динамических характеристик объектов.

Математическое описание объекта сравнительно быстро можно получить экспериментальными методами, так как они относительно просты,

поэтому они получили широкое распространение при исследовании свойств объектов, подлежащих автоматизации.

Теплоэнергетические объекты представляют собой устойчивые инерционные динамические системы и характеризуются непрерывными технологическими процессами. Их можно рассматривать как фильтры инфранизких частот с полосой пропускания от $\omega=0$ до $\omega=0,1 \div 0,2$ рад/сек с точки зрения динамики [24].

3.2.1 Экспериментальное определение кривых разгона объекта управления

В данной работе применяется экспериментальный метод определения кривой разгона. Схема экспериментальной установки для снятия переходной функции объекта управления представлена на рисунке 3.4.

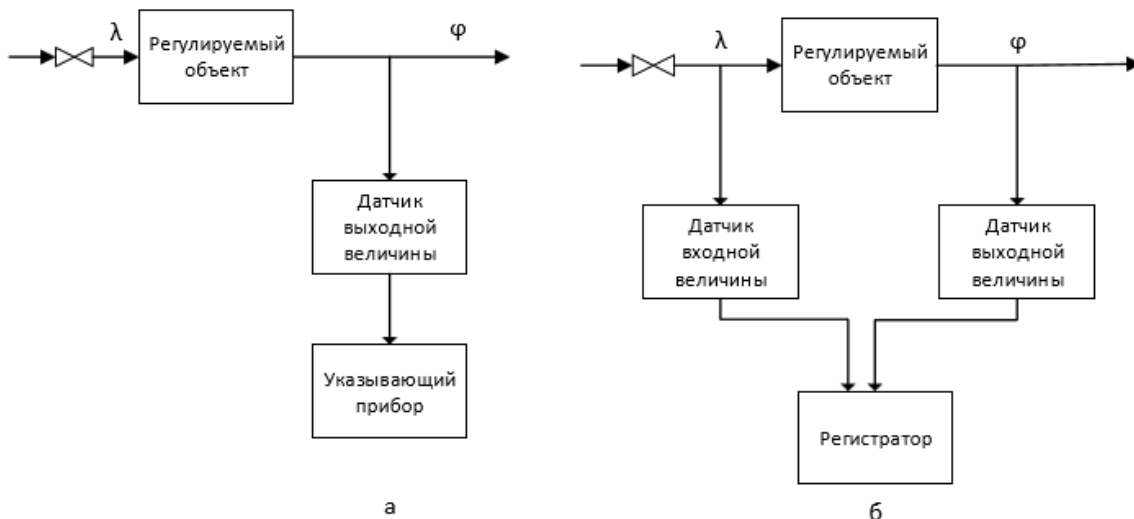


Рисунок 3.4 – Схема экспериментальной установки для снятия переходной функции объекта управления: а) регистрация выходного сигнала; б) регистрация входного и выходного сигнала [25]

Эксперимент проводится следующим образом: сначала стабилизируют часть посторонних возмущений, упрощая этим обработку результатов эксперимента, далее перед началом эксперимента устанавливают равновесный режим в системе, потом выбирают величину возмущения и вид входного сигнала, исходя из конкретных условий работы исследуемого

объекта, и в конце, наносят возмущение и регистрируют изменение входного и выходного сигналов [25].

На рисунках 3.5 и 3.6 представлены экспериментальные кривые разгона по температуре инерционного и малоинерционного контуров пароперегревателя при возмущении расходом на впрыск 2 т/ч.

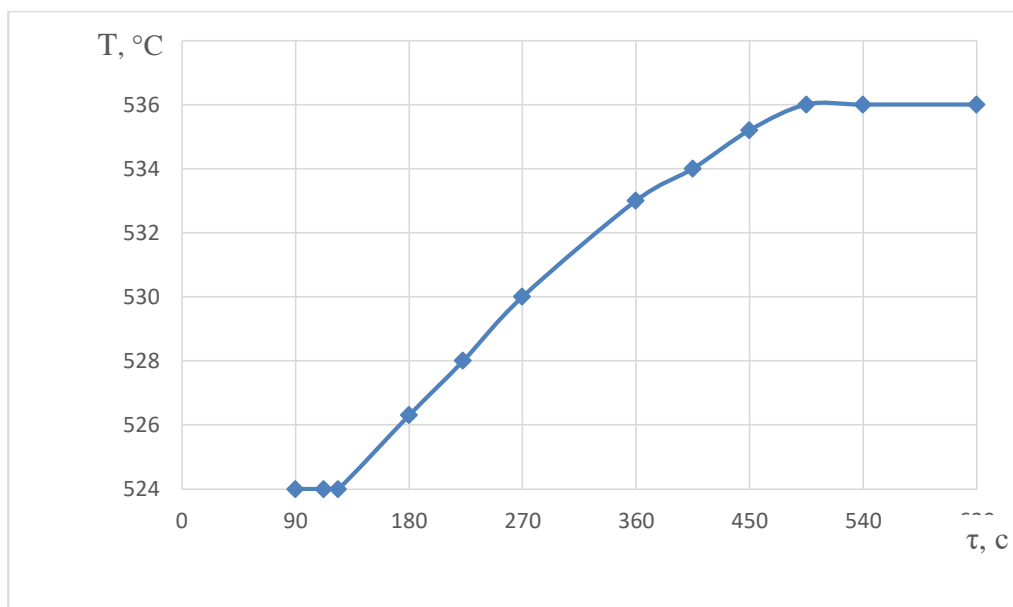


Рисунок 3.5 – Кривая разгона объекта управления инерционного контура, где τ – время, T – температура

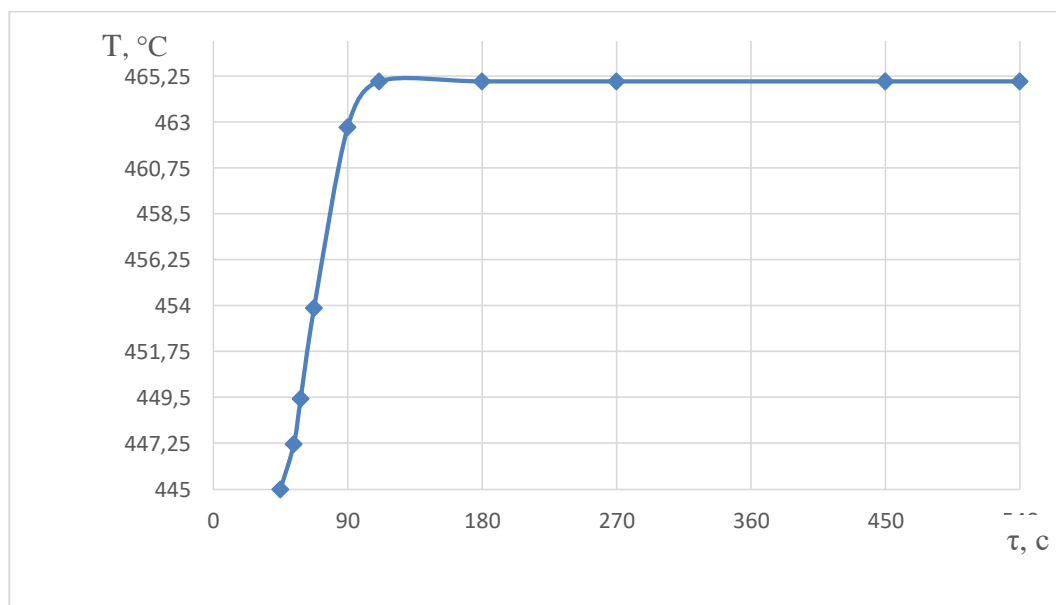


Рисунок 3.6 – Кривая разгона объекта управления опережающего контура, где τ – время, T – температура

3.2.2 Получение передаточных функций по кривым разгона объектов регулирования

Для получения передаточных функций инерционного и малоинерционного объектов регулирования воспользуемся методом аппроксимации Круг-Мининой [24]. Этот метод применяется для приближенного описания S – образной временной кривой временной кривой апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием. Аппроксимирующая передаточная функция в этом случае имеет вид

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (3.6)$$

где k – коэффициент усиления, $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{т/ч}}$;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания, с;

T – постоянная времени, с.

Определяем расположение на кривой точек А и В и находим необходимые неизвестные параметры.

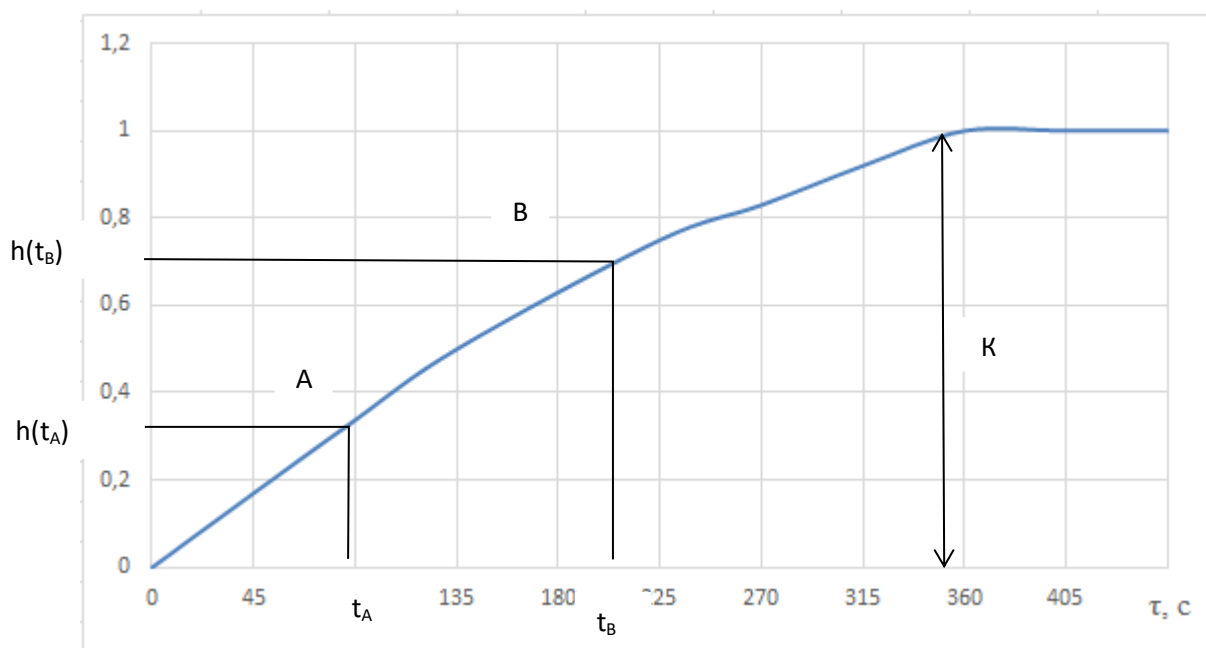


Рисунок 3.7 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора где τ – время, T – температура

Для наглядности и точности производится аппроксимация кривой по методу Круг Е.К. и Мининой О.М.. Определяется время t_B по нормированной переходной функции $H(t)$, которое является корнем уравнения $h(t_B)$ и время t_A и $h(t_A)$. Затем вычисляются постоянная времени T и время запаздывания τ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (3.7)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (3.8)$$

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 90 - 205) = 32,5 \text{ с},$$

$$T = 1,25(205 - 90) = 143,75 \text{ с}.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{3,25}{(143,75P + 1)} e^{-32,5P}.$$

Определяем расположение на кривой разгона опережающего контура точек А и В и находим необходимые неизвестные параметры.

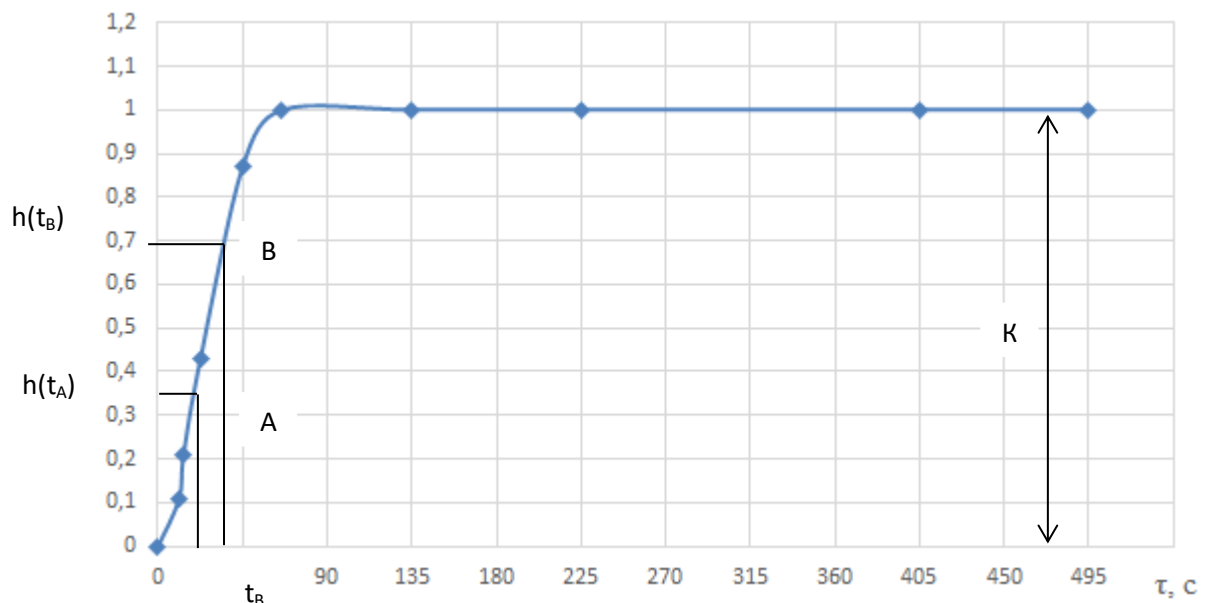


Рисунок 3.8 – Определение точек на кривой разгона для расчета параметров регулятора где τ – время, T – температура

Определяем значения по кривой разгона:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 16,25 - 33,75) = 7,5 \text{ с},$$

$$T = 1,25(33,75 - 16,25) = 21,9 \text{ с}.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{5}{(21,9P+1)} e^{-7,5P}.$$

3.3 Расчет оптимальных настроек регулятора

3.3.1 Обзор методов определения параметров настройки регулятора

Существует несколько методов расчета параметров настройки регулятора: аналитические, графические и на основе приближенных правил [24].

Аналитические методы основаны на том, чтобы достигнуть значения определенного из критериев. В качестве критериев могут выступать: запас устойчивости по фазе и по модулю, заданная степень устойчивости и др. Также к аналитическим относятся и частотные методы нахождения параметров настройки. Методы расчета по частотным характеристикам лежат в основе методов для расчета реально применяемых систем регулирования. Они дают возможность учитывать величины случайных шумов.

Графический метод представляет собой построение области устойчивости в координатах параметров регулятора. Далее происходит построение в этих же координатах новой области для параметров, которые рассчитываются по определенному критерию. Оптимальные параметры настройки регулятора выбираются исходя от определенных правил.

Расчет параметров настройки регулятора осуществим методом расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ). Расчетные формулы этого метода способны обеспечивать границы заданного запаса устойчивости или же заданной степени колебательности системы в

пространстве параметров настройки регулятора и использовать при расчетах средства вычислительной техники [24].

Структурная схема АСР температуры перегретого пара представлена на рисунке 3.9.

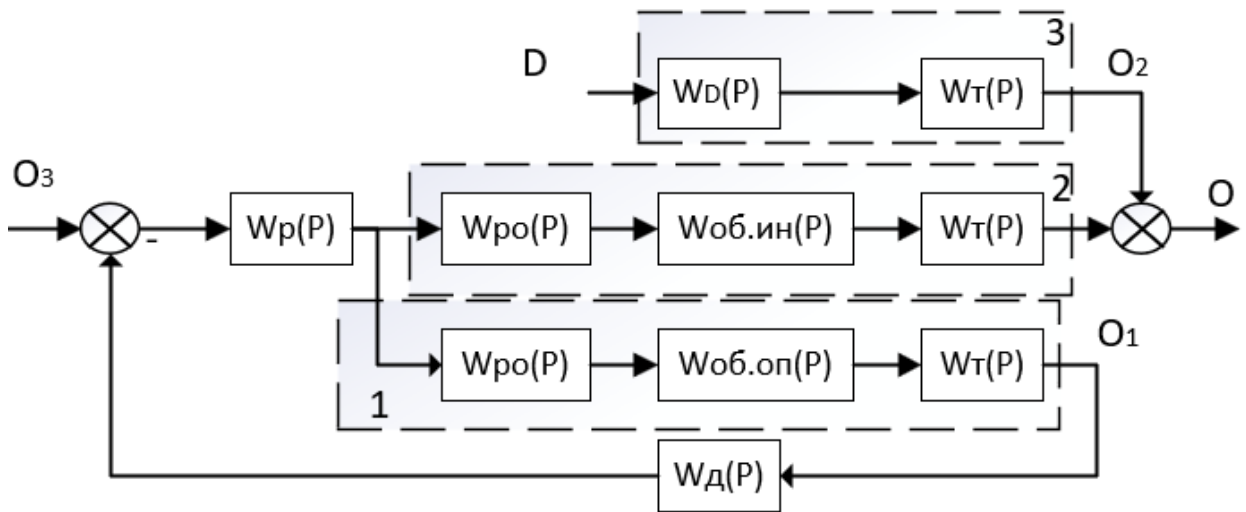


Рисунок 3.9 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара:

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_d(p)$ – передаточная функция дифференциатора; $W_{po}(p)$ – передаточная функция регулирующего органа; $W_{об.оп}(p)$ – передаточная функция опережающего участка; $W_{об.ин}(p)$ – передаточная функция инерционного участка; $W_T(p)$ – передаточная функция термоэлектрического преобразователя $W_D(p)$ – передаточная функция по каналу возмущения расходом пара; O_1 и O_2 – сигналы на выходе термоэлектрических термометров ТЭТ (или их комплекта с измерительным преобразователем); O_3 – сигнал задания; D – возмущение изменением расхода пара.

На схеме выделены контуры участков, передаточные функции которых равны:

1- передаточная функция объекта регулирования опережающего участка с учетом динамических характеристик регулирующего органа и измерительного преобразователя:

$$W_{об.оп}(P) = W_{po}(P) \cdot W_T(P) \cdot W_{об.оп1}(P), \quad (3.9)$$

2- передаточная функция объекта регулирования инерционного участка с учетом динамических характеристик регулирующего органа и измерительного преобразователя:

$$W_{об.ин}(P) = W_{ро}(P) \cdot W_T(P) \cdot W_{об.ин1}(P), \quad (3.10)$$

3- передаточная функция по каналу возмущения расходом пара:

$$W_{Dn}(P) = W_D(P) \cdot W_T(P), \quad (3.11)$$

3.3.2 Аналитический расчет оптимальных настроек регулятора и дифференциатора и построение переходного процесса в замкнутой АСР

Задача выбора оптимальных параметров настройки заключается в поиске экстремума критерия оптимальности в области допустимых значений параметров.

Структурная схема системы регулирования представлена на рисунке 3.10.

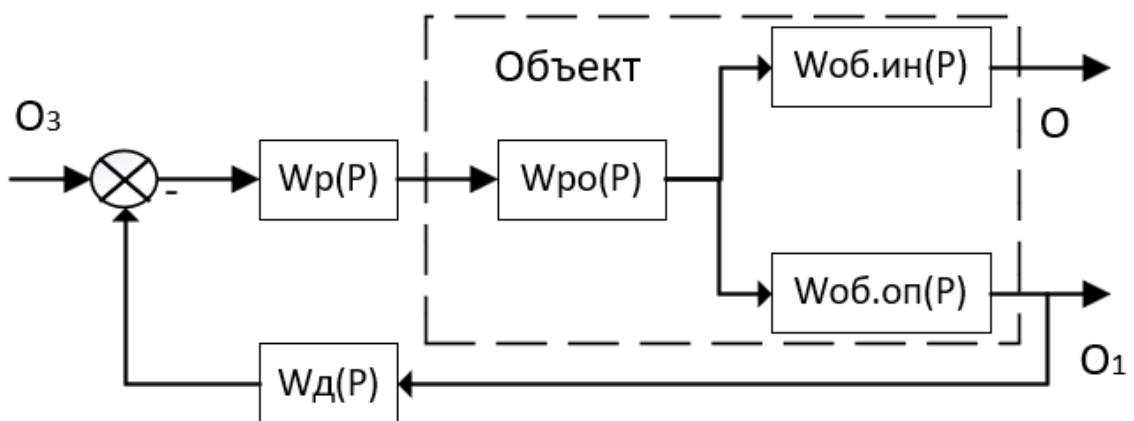


Рисунок 3.10 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара:

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_d(p)$ – передаточная функция дифференциатора; $W_{ро}(p)$ – передаточная функция регулирующего органа;

$W_{об.оп}(p)$ – передаточная функция опережающего участка; $W_{об.ин}(p)$ – передаточная функция инерционного участка.

Передаточные функции регулятора и дифференциатора будут иметь вид

$$W_p(P) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ип}}\right) = C_1 + \frac{C_0}{p}; \quad (3.12)$$

$$W_d(P) = \frac{k_p T_{рп}}{T_{рп} p + 1} = \frac{1}{C_3 + \frac{C_2}{p}}, \quad (3.13)$$

$$\text{где } C_0 = \frac{k_p}{T_{и}}; C_1 = k_p; C_2 = \frac{1}{k_d T_d}; C_3 = \frac{1}{k_d}.$$

Для выбора оптимальных параметров настройки каскадной схемы АСР температуры перегретого пара выполняем отдельный расчет контуров, который может быть только в случае малой инерционности внутреннего контура относительно инерционности внешнего контура.

3.3.3.1 Расчет параметров настройки дифференциатора

Передаточная функция замкнутой АСР по задающему воздействию относительно выходного параметра согласно структурной схеме (рисунок 27) имеет вид

$$W_{зс}^{O,O_3}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{об.ин}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{об.ин}(p) + W_p(p) \cdot W_{об.оп}(p) \cdot W_d(p)}. \quad (3.14)$$

Поделим числитель и знаменатель на $W_p(p) \cdot W_{об.оп}(p) \cdot W_d(p)$ и устремим коэффициент усиления регулятора к бесконечности. В результате этого получим

$$W_{зс}^{O,O_3}(p) = \frac{\frac{W_{об.ин}(p)}{W_{об.оп}(p)} \cdot \frac{1}{W_d(p)}}{1 + \frac{W_{об.ин}(p)}{W_{об.оп}(p)} \cdot \frac{1}{W_d(p)}}. \quad (3.15)$$

Таким образом, при условии малой инерционности внутреннего контура исходная двухконтурная АСР преобразуется в одноконтурную систему с эквивалентным объектом и эквивалентным регулятором:

$$W_{об,э}(p) = \frac{W_{об.ин}(p)}{W_{об.оп}(p)}; \quad (3.16)$$

$$W_{p,\varepsilon}(p) = \frac{1}{W_d(p)} = C_3 + \frac{C_2}{p}. \quad (3.17)$$

где $W_{об.ин}(P) = W_{po}(P) \cdot W_T(P) \cdot W_{об.ин}(P)$, $W_{об.оп}(P) = W_{po}(P) \cdot W_T(P) \cdot W_{об.оп}(P)$.

Определим параметры настройки дифференциатора методом расширенных частотных характеристик.

Передаточная функция регулятора

$$W_{p,\varepsilon}(P) = \frac{1}{W_o(P)} = \frac{1}{k_o(P)} + \frac{1}{k_o(P) \cdot T_o \cdot P} \quad (3.18)$$

Замена P на комплексную переменную $P = (-\omega) \cdot (m - i)$.

Настроечные параметры дифференциатора

$$\frac{1}{k_o \cdot T_o} = \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \left(-\frac{\text{Im}_{oo}(m, \omega)}{A_{oo}^2(m, \omega)} \right), \quad (3.19)$$

$$\frac{1}{k_o} = -\frac{m \cdot \text{Im}_{oo}(m, \omega) + \text{Re}_{oo}(m, \omega)}{A_{oo}^2(m, \omega)}, \quad (3.20)$$

где $\text{Re}_{oo}(m, \omega)$ и $\text{Im}_{oo}(m, \omega)$ расширенные ВЧХ и МЧХ объекта,

$A_{oo}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{oo}(m, \omega) + \text{Im}_{oo}(m, \omega)}$ - расширенная АЧХ объекта.

Задаем степень затухания $\psi = 0,998$, тогда степень колебательности $m = 0,989$.

Обозначим:

$$C_2(\omega) = \frac{1}{k_o, T_o}, \quad (3.21)$$

$$C_3(\omega) = \frac{1}{k_o}. \quad (3.22)$$

Построим график зависимости $C_2(\omega) = f(C_3(\omega))$. График представлен на рисунке 3.11.

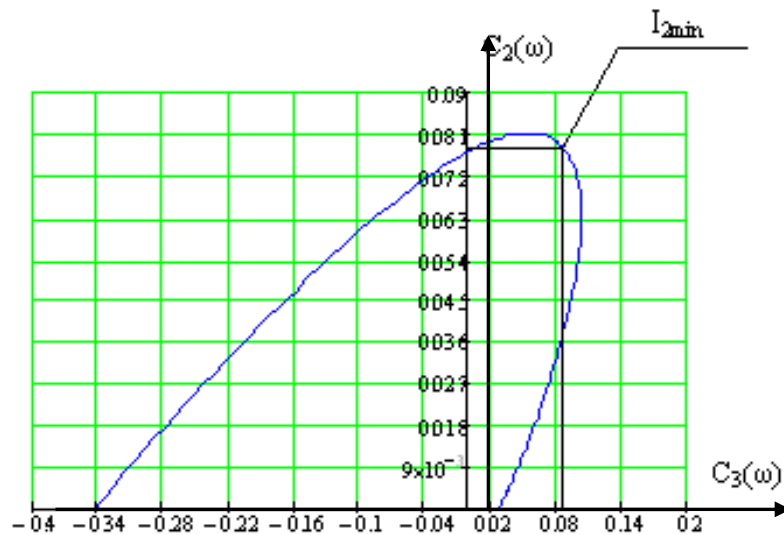


Рисунок 3.11 – Граница запаса устойчивости эквивалентного регулятора

Используя второй интегральный критерий качества, находим коэффициенты $C_2 = 0,0773$ и $C_3 = 0,084$.

Откуда находим оптимальные параметры настройки дифференциатора

$$k_d = 1,235, \quad T_d = 10,479 \text{ с.}$$

Передаточная функция дифференциатора
$$W_o(p) = \frac{12,936 \cdot P}{10,479 \cdot P + 1}.$$

3.3.3.2 Расчет параметров настройки регулятора

Значения k_d и T_d найдены из условия, что коэффициент усиления регулятора достаточно большой, но практически его значение всегда ограничено. Поэтому необходимо определение оптимальных параметров настройки регулятора.

Дифференциатор $W_d(p)$ совместно с объектами $W_{об.ин}(p)$ и $W_{об.оп}(p)$ образуют для регулятора эквивалентный объект регулирования в одноконтурной АСР с передаточной функцией

$$W_{об,э}^p(p) = W_{об,ин}(p) + W_{об,оп}(p) \cdot W_d(p). \quad (3.23)$$

Определим параметры настройки ПИ-регулятора методом расширенных частотных характеристик.

Замена P на комплексную переменную $P = (-\omega) \cdot (m - i)$.

Настроечные параметры дифференциатора

$$\frac{k_p}{T_u} = \frac{(-1)}{A_{обP}^2(m, \omega)} \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{обP}(m, \omega), \quad (3.24)$$

$$k_p = \frac{(-1)}{A_{обP}^2(m, \omega)} \cdot (\text{Re}_{обP}(m, \omega) + m \cdot \text{Im}_{обP}(m, \omega)) \quad (3.25)$$

где $\text{Re}_{об}(m, \omega)$ и $\text{Im}_{об}(m, \omega)$ расширенные ВЧХ и МЧХ эквивалентного объекта,

$A_{обP}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{обP}(m, \omega) + \text{Im}_{обP}(m, \omega)}$ - расширенная АЧХ эквивалентного объекта.

Задаем степень затухания $\psi = 0,998$, тогда степень колебательности $m = 0,989$.

Обозначим:

$$C_0(\omega) = \frac{k_p}{T_u}, \quad (3.26)$$

$$C_1(\omega) = k_p. \quad (3.27)$$

Построим график зависимости $C_0(\omega) = f(C_1(\omega))$. График представлен на рисунке 3.12.

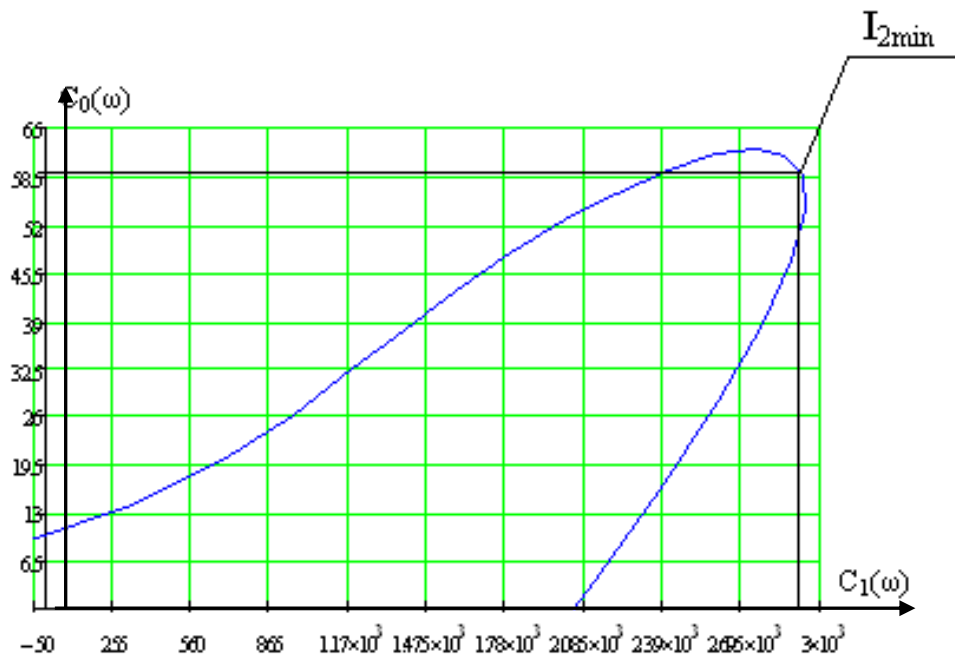


Рисунок 3.12 – Граница запаса устойчивости ПИ-регулятора

Используя второй интегральный критерий качества, находим коэффициенты $C_0 = 55,21013$ и $C_1 = 269671$.

Откуда находим оптимальные параметры настройки регулятора

$$k_p = 2697,71, \quad T_u = 48,8626 \text{ с}, \quad \omega_p = 0,0188 \text{ с}^{-1}.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора $W_p(p) = \frac{55,21}{p} + 2697,71$.

3.3.3.3 Проверка гипотезы о малой инерционности опережающего контура

По выражению (3.28) вычисляется амплитуда $|\Delta i \omega_{\text{рез}}|$ и фаза $\arg \Delta(i \omega_{\text{рез}})$, где $\omega_{\text{рез}}$ - частота, при которой определены оптимальные значения.

$$\Delta(p) = \frac{W_{\text{об.оп}}(p) \cdot W_p(p) \cdot W_d(p)}{1 + W_{\text{об.оп}}(p) \cdot W_p(p) \cdot W_d(p)}, \quad (3.28)$$

$$\Delta(p) = 0.881.$$

$$\left. \begin{array}{l} |\Delta i\omega_{\text{рез}}| - 1 < 0,1; \\ \arg \Delta(i\omega_{\text{рез}}) > -5^\circ. \end{array} \right\} \quad (3.29)$$

$$\left. \begin{array}{l} 0,005 - 1 < 0,1; \\ -0,266 > -5^\circ. \end{array} \right\}$$

Выполнение условия (3.29) подтверждает предположение о малой инерционности опережающего контура.

3.3.4 Построение переходного процесса в АСР температуры перегретого пара по задающему воздействию и оценка качества работы системы

Построение переходного процесса по задающему воздействию проводим с использованием передаточной функции методом численного интегрирования.

$$W_{\text{зс}}^{O,O_3}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{\text{об.ин}}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{\text{об.ин}}(p) + W_p(p) \cdot W_{\text{об.оп}}(p) \cdot W_d(p)} \quad (3.30)$$

Этот метод основан на том, что при нулевых начальных условиях и единичном ступенчатом воздействии связь между переходной характеристикой и вещественной частотной характеристикой (ВЧХ) системы имеет вид

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega t) d\omega \quad (3.31)$$

График ВЧХ системы представлен на рисунке 3.13.

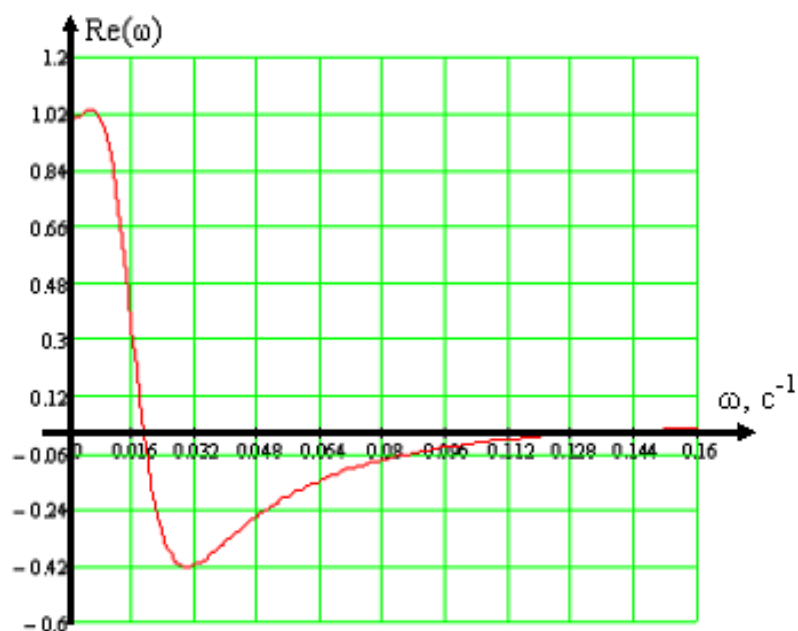


Рисунок 3.13 – ВЧХ системы

Резонансная частота $\omega_{рез} = 0,128 \text{ с}^{-1}$.

Переходный процесс рассчитываем по формуле

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{0,128} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega t) d\omega$$

График переходного процесса представлен на рисунке 3.14.

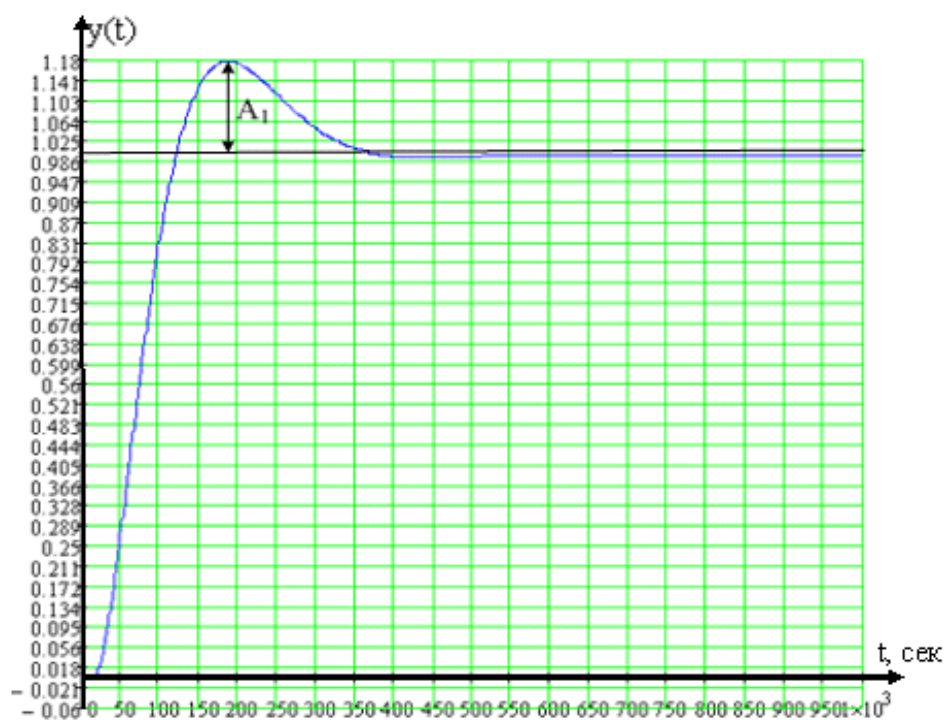


Рисунок 3.14 – график переходного процесса по каналу задающего воздействия

Начальный участок переходного процесса представлен на рисунке 3.15.

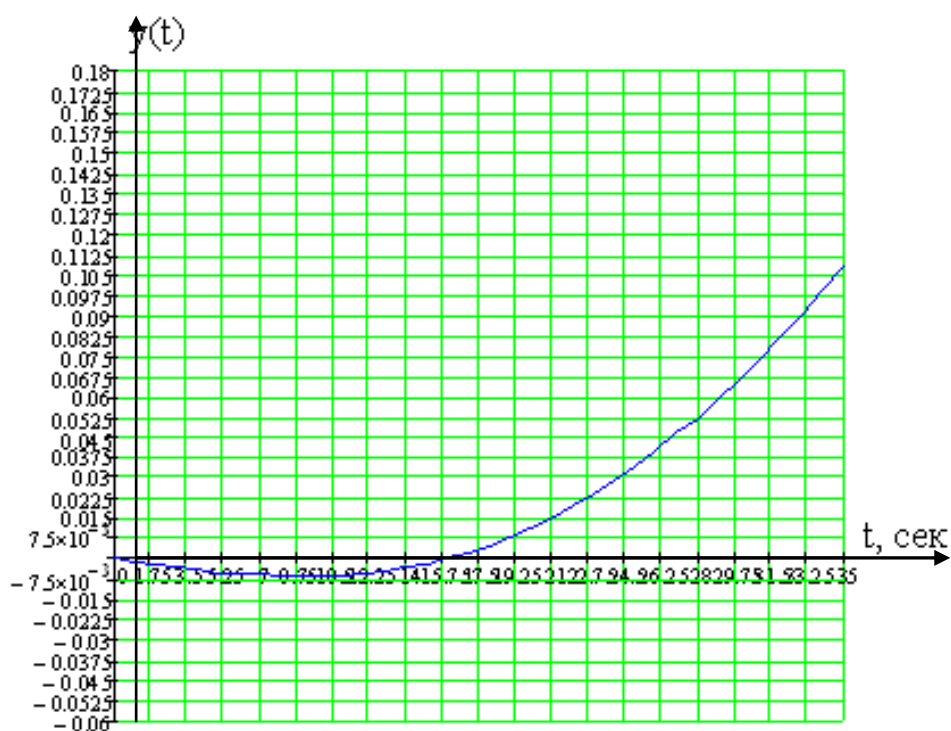


Рисунок 3.15 – график переходного процесса по каналу задающего воздействия

По графику переходного процесса определяем величины $A_1 = 0,17787$, $A_2 = 0,00497$.

Прямые оценки качества переходного процесса:

1. Максимальная динамическая ошибка $A_1 = 0,17787$.
2. Степень затухания переходного процесса

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,17787 - 0,00497}{0,17787} = 0,997$$

(3.32)

3. Время регулирования $t_p = 280$ с.

$$4. \text{ Перерегулирование } \sigma = \frac{A_1}{Y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0,17787}{1} \cdot 100\% = 17,787 \%. \quad (3.33)$$

5. Динамический коэффициент регулирования

$$R_o = \frac{A_1 + Y(\infty)}{k_{об}} 100\% = \frac{0,17787 + 1}{1} \cdot 100\% = 177,87 \%. \quad (3.34)$$

$$6. \text{ Статическая ошибка } \varepsilon_{ст} = S - Y(\infty) = 1 - 1 = 0. \quad (3.35)$$

Значения прямых оценок качества переходного процесса представим в таблице 3.2, где также будут присутствовать требуемые показатели качества.

Таблица 3.2 – Прямые оценки качества переходного процесса

Наименование	Расчетные оценки	Требуемые оценки
Перерегулирование σ , %	17,787	20
Степень затухания ψ	0,997	0,95 ÷ 1
Время регулирования t_p , с	280	300
Максимальная динамическая ошибка A_1	0,17787	-
Статическая ошибка $\varepsilon_{ст}$	0	0

Как видно из таблицы 3.2 показатели переходного процесса (рисунок 3.15) рассчитанной нами системы соответствуют требованиям, предъявляемым к переходному процессу АСР температуры перегретого пара парогенератора.

4 Мнемосхема проекта

Мнемосхема это графическое изображение основанное на функциональной схемы управляемого объекта. Таким образом, схема описывает технологический процесс, используя программное управление. Мнемосхема является промежуточным звеном между оператором и производственным процессом, в процессе управления мнемосхема это источник данных о текущем состоянии системы и всех ее составляющих.

Общие требования, предъявляемые к мнемосхеме:

- 1) мнемосхема должна содержать элементы, необходимые оператору для контроля и управления объектом;
- 2) отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- 3) форма и размеры панели должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов.

В соответствие с вышеизложенными требованиями была разработана мнемосхема для температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140, которые приведены на рисунке 4.1 и 4.2.

Разработаны два взаимосвязанных экрана, на которых представлены функции переключения управления (дистанционное или ручное), положения исполнительного механизма, изображены индикаторы реального времени. На рисунке 4.1 показан контроль процессов, т.е. вывод графиков, период опроса, зона нечувствительности. Рисунок 4.2 представляет собой мнемосхему, на которой условно изображены объект регулирования, регулятор, пусковое устройство и исполнительный механизм.

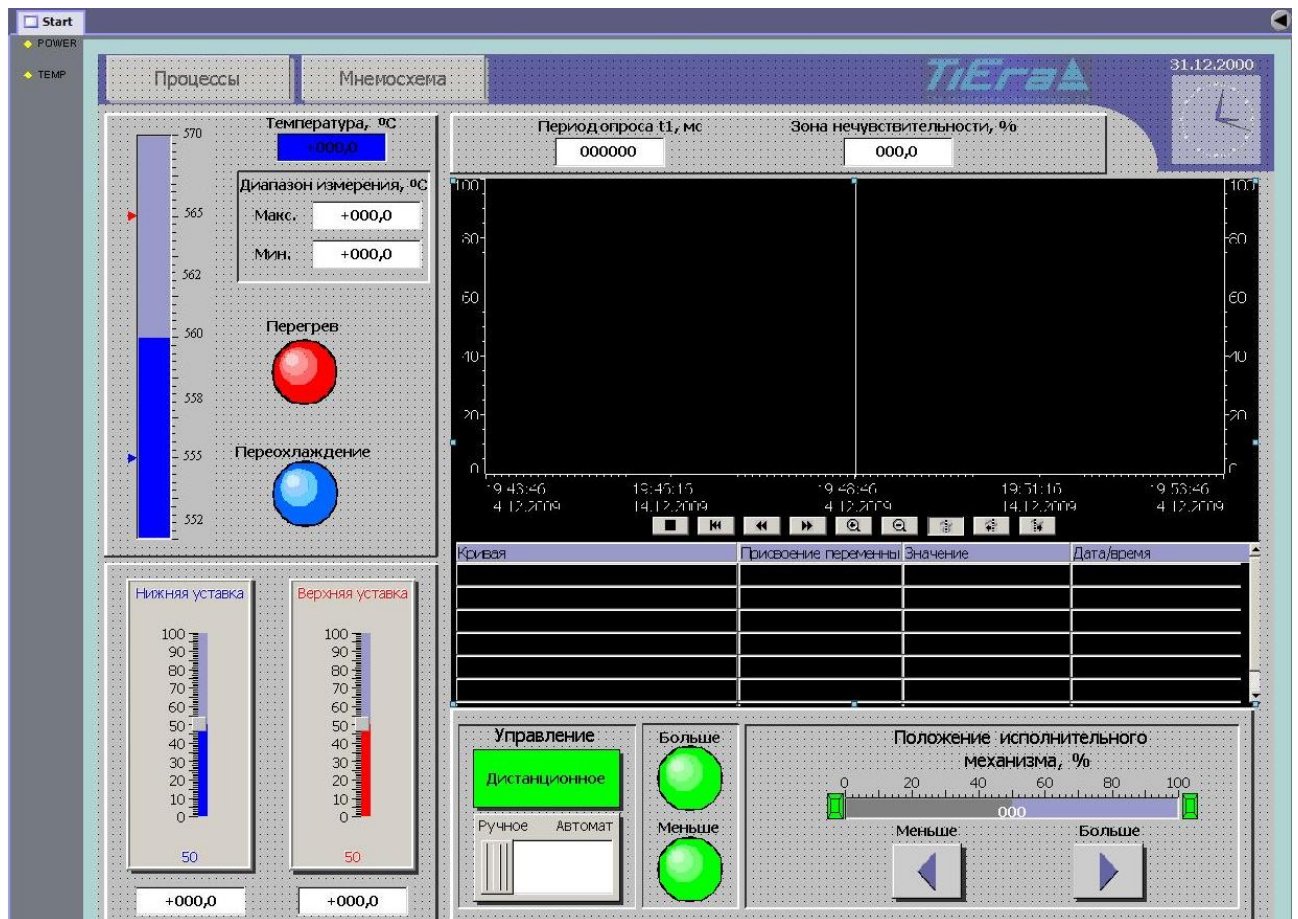


Рисунок 4.1 – Экранная форма «Процессы» SCADA-системы

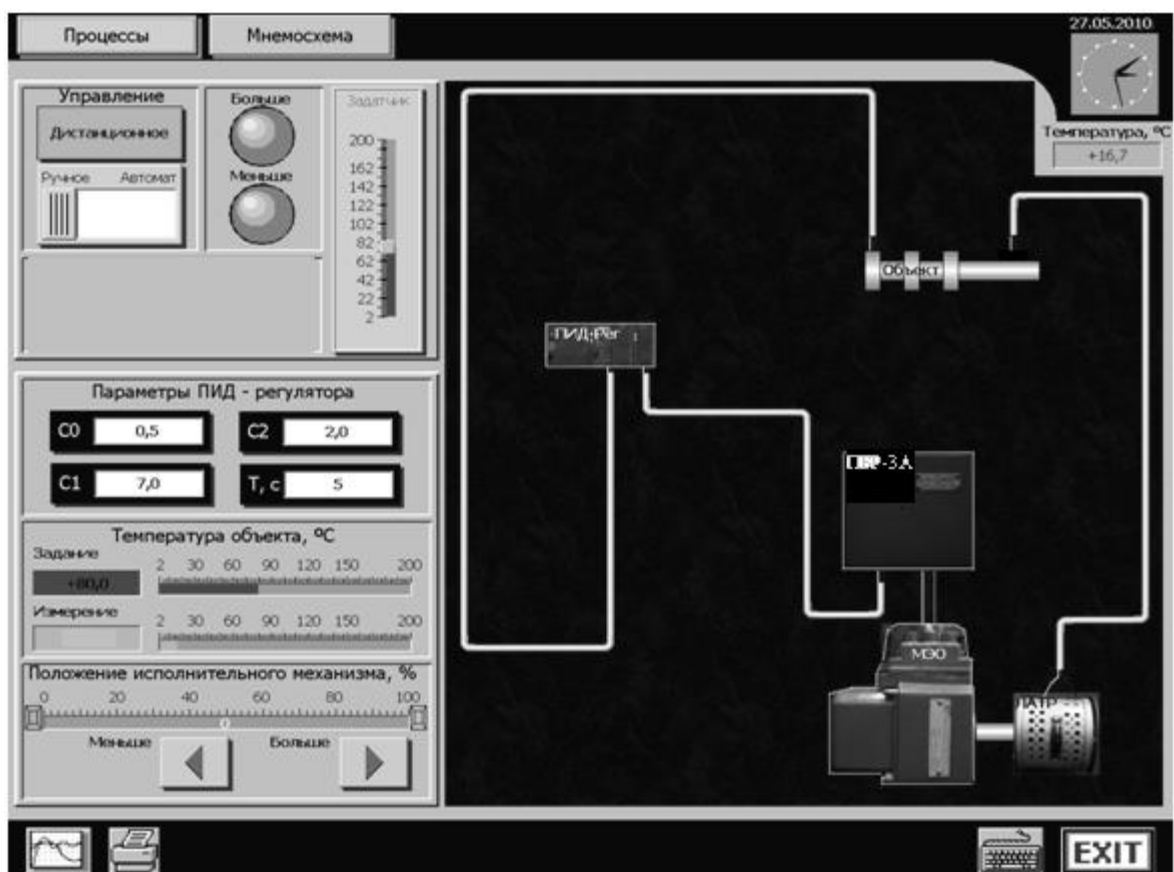


Рисунок 4.2 – Экранная форма «Мнемосхема» SCADA-системы

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Мартова Светлана Вячеславовна

Учебное подразделение	ИШЭ	Образовательный центр	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тариф на электроэнергию составляет 3,25 руб/кВт·ч.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды 30 % от фонда оплаты труда

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Смета затрат на оборудование Оценка экономической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.18
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший Преподаватель кафедры менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			23.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Мартова Светлана Вячеславовна		23.04.18

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является расчет экономической эффективности разработки автоматизированной системы технического и коммерческого учета потребляемой электроэнергии распределенным объектом.

Для выполнения данной задачи необходимо:

- 1) составить план работ и оценить время их выполнения;
- 2) составить смету затрат на проект;
- 3) составить смету затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта;
- 4) определить срок окупаемости проекта.

5.1 Планирование работ и оценка времени выполнения

Для организации процесса реализации проекта необходимо планирование занятости участников в проекте, а также сроков выполнения определенных этапов работы. В таблице 5.1 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 5.1 – Перечень работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей	Продолжительность, дней
Получение задания	Инженер	1
	Научный руководитель	1
Обзор мировых работ, связанных с регулированием температуры перегретого пара	Инженер	6
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	25
	Научный руководитель	3
Анализ подобранных материалов	Инженер	6
Разработка функциональной и структурной схем, подбор оборудования	Инженер	17
	Научный руководитель	3
Разработка щита управления САУ	Инженер	8
Проектирование мнемосхемы	Инженер	7
Оформление пояснительной записки ВКР	Инженер	7
Проверка и утверждение выпускной квалификационной работы	Инженер	8
	Научный руководитель	1
Итого	Инженер	85
	Научный руководитель	8

По данным таблицы 5.1 построен график проведения работ, представленный в таблице 5.2.

Диаграмма Гантта – это популярный тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Является одним из методов планирования проектов. Используется в приложениях по управлению проектами.

Таблица 5.2 - Диаграмма Ганта

Наименование работы	1	2-7	8-32	33-38	39-55	56-63	64-70	71-77	78-85
Получение задания									
Обзор мировых работ, связанных с регулированием температуры перегретого пара									
Подбор и изучение материалов по теме									
Анализ подобранных материалов									
Разработка функциональной и структурной схем, подбор оборудования									
Разработка щита управления САУ									
Проектирование мнемосхемы									
Оформление пояснительной записки ВКР									
Проверка и утверждение ВКР									

5.2 Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта рассчитываются в рублях по формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (5.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

5.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем 1000 руб.

5.2.2 Затраты на амортизацию

Амортизацию оборудования в классическом понимании можно назвать постепенным переносом стоимости основной части финансовой организации и ее активов нематериального значения по уровню их морального и физического износа на итоговую цену выпускаемых товаров.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается руб./год в как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (5.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ – календарное время;

$C_{\text{кт}}$ – цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{85}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1164 \text{ руб./год.}$$

5.2.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера.

Затраты на заработную плату рассчитываются в рублях как:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \quad (5.3)$$

где $ЗП_{инж}^{\phi}$ - фактическая заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад инженера и научного руководителя:

$$ЗП_{инж}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (5.4)$$

$$ЗП_{нр}^м = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.5)$$

где $ЗП_{инж}^м$ - месячная заработная плата инженера;

$ЗП_{нр}^м$ - месячная заработная плата научного руководителя;

$ЗП_0$ - месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 26300 руб.);

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 – районный коэффициент равен 1,3 (10%).

$$ЗП_{инж}^м = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб};$$

$$ЗП_{нр}^м = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата рассчитывается в рублях:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (5.6)$$

где $ЗП_{мес}$ – месячная заработная плата;

21 – среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

Инженер:

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{17000}{21} \cdot 85 = 68809 \text{ руб.}$$

Научный руководитель

$$ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{37609}{21} \cdot 8 = 14327 \text{ руб.},$$

$$K_{з/пл} = 68809 + 14327 = 83136 \text{ руб.}$$

5.2.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством государственного социального страхования в Фонд социального страхования РФ, Пенсионный фонд РФ, фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), по элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату.

$$K_{соц/н} = K_{з/пл} \cdot 0,3, \quad (5.7)$$

$$K_{соц/н} = 83136 \cdot 0,3 = 24941 \text{ руб.}$$

5.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{пр} = (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{соц/н}) \cdot 0,1, \quad (5.8)$$

$$K_{пр} = (1000 + 1164 + 83136 + 24941) \cdot 0,1 = 11024 \text{ руб.}$$

5.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание производства и управление предприятием, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства.

Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \quad (5.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 83136 \cdot 2 = 166272 \text{ руб.}$$

В таблице 4.3 представлена смета затрат на проект.

Таблица 5.3 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1000
Амортизация компьютерной техники	1164
Затраты на заработную плату	83136
Затраты на социальные нужды	24941
Прочие затраты	11024
Накладные расходы	166272
Итого:	287537

5.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 5.4 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 5.4 – Затраты на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
Микропроцессорный программируемый контроллер ПЛК ОВЕН 63	15000	1
Датчик температуры (ТЭП)	4000	2
Блок питания БП-20АМ	2300	1
Исполнительный механизм МЭОФ-1000/25-0,25	38000	1
Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А	4500	1
Кабель КИПЭВ 2х0,6	9300	1
Кабель КРВГ 4х1	2520	1
Кабель КРВБГ 4х1	5400	1
Кабель АКРВБГ 4х2.5	1080	1
Компьютер	25000	1
Итого	111100	11

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 20 % от суммы затрат на технические средства:

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot K_{\text{обор}}, \quad (5.10)$$

где $K_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$K_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 111100 = 22220 \text{ руб.}$$

Общие капитальные затраты:

$$\sum K = K_{\text{пр}} + K_{\text{обор}} + K_{\text{монт}}, \quad (5.11)$$

$$\sum K = 287537 + 111100 + 22220 = 420857 \text{ руб.}$$

5.4 Расчет годовых эксплуатационных издержек

$$I_{\text{год}} = I_{\text{ам}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{з/пл}} + I_{\text{соц}}, \quad (5.12)$$

где $I_{\text{ам}}$ – затраты на амортизацию; $I_{\text{рем}}$ – затраты на текущий ремонт; $I_{\text{з/пл}}$ – затраты на зарплату обслуживающего персонала; $I_{\text{соц}}$ – затраты на социальные нужды (30% от оплаты труда).

Амортизационные отчисления при сроке службы технических средств $T_{\text{сс}} = 10$ лет определяется по формуле:

$$I_{\text{ам}} = \frac{1}{T_{\text{сс}}} \cdot I_{\text{обор}}, \quad (5.13)$$

$$I_{\text{ам}} = \frac{1}{10} \cdot 111100 = 11110 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт приняты в размере 10 % от затрат на амортизацию:

$$I_{\text{рем}} = 0,1 \cdot I_{\text{ам}}, \quad (5.14)$$

$$I_{\text{рем}} = 0,1 \cdot 11110 = 1111 \text{ руб.}$$

Рассчитаем затраты на заработную плату в рублях по формуле:

$$I_{\text{з/пл}} = ЗП_{\text{опер}} + ЗП_{\text{инж}} + ЗП_{\text{монт}}, \quad (5.15)$$

где $ЗП_{\text{опер}}$ – заработная плата оператора; $ЗП_{\text{инж}}$ – заработная плата инженера КИПиА; $ЗП_{\text{монт}}$ – заработная плата слесаря-монтажника.

Рассчитаем месячный оклад сотрудников по формуле:

$$ЗП^{\text{м}} = ЗП \cdot K_1 \cdot K_2. \quad (5.16)$$

где $ЗП$ – месячный оклад, руб; K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (10 %); K_2 – районный коэффициент (30 %).

$$ЗП_{\text{опер}}^{\text{м}} = 15000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 21450 \text{ руб,}$$

$$ЗП_{\text{инж}}^{\text{м}} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб,}$$

$$ЗП_{\text{монт}}^{\text{м}} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб,}$$

Годовая заработная плата обслуживающего персонала будет составлять:

$$I_{\text{з/пл}} = 12 \cdot ЗП^{\text{м}}, \quad (5.17)$$

$$I_{\text{опер}} = 12 \cdot 21450 = 257400 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{инж}} = 12 \cdot 42900 = 257400 \text{ руб.}$$

Работа слесаря-монтажника составляет один месяц.

Тогда, затраты на заработную плату за год будут равны:

$$I_{\text{з/пл}} = 257400 + 257400 + 42900 = 815100 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды составляют 30 % от фонда оплаты труда:

$$I_{\text{соц}} = 0,3 \cdot I_{\text{з/пл}}, \quad (5.18)$$

$$I_{\text{соц}} = 0,3 \cdot 815100 = 244530 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные расходы составляют:

$$I_{\text{год}} = 11110 + 1111 + 244530 + 815100 = 107851 \text{ руб.}$$

5.5 Расчет экономической эффективности

За счет внедрения автоматической системы энергосбережение на предприятии составит 20-25 % от суточного потребления электроэнергии.

Предел годовой экономии можно рассчитать по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_3 = 365 \cdot \Delta \mathcal{E} \cdot \tau_3, \quad (5.19)$$

где $\Delta \mathcal{E} = 3000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ – экономия электроэнергии; $\tau_3 = 3,25 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ – тариф на электроэнергию.

$$\Delta \mathcal{E}_3 = 365 \cdot 3000 \cdot 3,25 = 3558750 \text{ руб.}$$

Годовой эффект будет равен пределу годовой экономии:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 3558750 \text{ руб.}$$

Рассчитаем срок окупаемости капитальных вложений, используя формулу:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}} + K_{\text{обор}} + K_{\text{монт}}}{\mathcal{E}_{\text{год}} - I_{\text{год}}}, \quad (5.20)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{287537 + 111100 + 22220}{3558750 - 1071851} = 0,17 \text{ года.}$$

Реализация проекта по внедрению автоматической системы регулирования температуры перегретого пара требует больших финансовых вложений на разработку проекта, приобретение оборудования и монтаж системы. При внедрении данной системы снижается нагрузка на производственное оборудование и вследствие этого повышается рабочий ресурс, также снижаются затраты на электроэнергию.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4В	Мартовой Светлане Вячеславовне

Учебное подразделение	ИШЭ	Образовательный центр	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Создание автоматической системы регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов, которые может создать объект исследования. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	Вредные факторы при разработке и эксплуатации системы: - действия фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью; - электромагнитное излучение; - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства). Возможные опасные факторы: - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность.
2. Экологическая безопасность	Влияние рассматриваемого объекта исследования на атмосферу (выбросы), литосферу (отходы), методы минимизации ущерба окружающей среде.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.04.18
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Экологии и БЖД	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		23.04.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4В	Мартова Светлана Вячеславовна		23.04.18

6 Социальная ответственность

Введение

Под социальной ответственностью понимается ответственность предприятия перед обществом за свою деятельность. На практике социальная ответственность выражается в качестве производимого товара или услуги, в своевременной уплате налогов, в создании комфортных рабочих условий для сотрудников.

Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную. Корпоративная социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы, а индивидуальная возлагает на себя ответственность за деяние одного человека.

К социальным вопросам на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Главной задачей охраны труда, является создание условий для безопасной трудовой деятельности человека, т.е. создание таких условий труда, которые исключают воздействия вредных факторов производства на рабочих.

В данной работе была спроектирована система регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140. Данная система устанавливается в котельной и ее использование на практике является актуальной, так как предполагает ликвидировать потери энергии, а также

обеспечить надежность и безопасность работы парогенератора. Пользователем данной системы является Томская ГРЭС-2.

При эксплуатации данной системы регулирования уменьшиться количество персонала и произойдет понижение стоимости тепловой энергии. Для обеспечения работоспособности системы необходим оператор, который будет отслеживать температуру перегретого пара на выходе котла, и осуществлять обслуживание системы. При выполнении этих работ на оператора могут воздействовать следующие вредные факторы:

- 1) повышенная температура воздуха рабочей зоны;
- 2) повышенная влажность;
- 3) повышенная загазованность воздуха;
- 4) недостаточная освещенность рабочего места;
- 5) физические перегрузки;
- 6) воздействие открытого огня.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

В летнее время года котельные не работают в полном объеме, вся нагрузка приходится на зимний период времени. Нагрузка весной и осенью одинакова. Парогенератор БКЗ 210-140 представляет опасность, как для окружающей среды, так и для рабочих в помещении, где установлен парогенератор. Одним из главных опасных факторов является количество выбросов в атмосферу. Для того чтобы уменьшить концентрацию выбросов проводят такие операции, как установка очистного оборудования для дымовых газов, установка дополнительных вентиляторов в цехах, своевременная проверка оборудования на наличие образования утечек,

установка датчиков концентрации вредных веществ на всей территории котельной.

Еще одним опасным фактором в котельной является высокий уровень шума, который проявляется из-за большого количества производственного оборудования. На персонал оказываются такие последствия как головная боль, утомленность, а также при длительном воздействии шума поражение органов слуха и нервной системы.

6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве

Помещение котельной содержит большое количество проводов и электроприборов, которые работают на высоких значениях напряжения и силы тока. Если изоляция проводов не правильна, или отсутствует заземление, то это может привести к поражению персонала электрическим током или к возникновению возгораний.

6.1.3 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

При работе возле котельного агрегата возможны ожоги, для их предотвращения используют специализированную одежду, а также выполнение техники безопасности для котельной.

Также при работе возможно поражение электрическим током, для его предотвращения соблюдаются требования: изоляция проводов, использование знаков безопасности и предупреждающих сигналов, использование персоналом диэлектрических перчаток, инструментов с изолированными рукоятками для работы с электрооборудованием, использование изоляционных дополнительных средств защиты.

Влияние шума можно уменьшить путем гашения в источнике, проведения акустической обработки котельной, шумоизоляции, использования средств индивидуальной защиты (наушники).

Для уменьшения загазованности и влажности в помещении устанавливается вытяжная система. Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно, кроме летнего периода времени, что связано с остановкой котельной.

6.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность на предприятии – это комплекс мер, направленных на выявление негативных факторов, которые могут повлиять на здоровье или даже жизнь работников предприятия. Внедрение экологических технологий помогает сберечь энергетические и прочие ресурсы, что в свою очередь влияет на рентабельность производства, продуктивность работы.

6.2.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

Одним из основных источников загрязнения атмосферы являются выбросы загрязняющих веществ предприятия энергетики, которые обусловлены процессами сгорания топлива. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы источника теплоснабжения.

Большую опасность для здоровья человека и биосферы представляют многочисленные теплоисточники, которые не имеют средств очистки дымовых газов.

6.2.2 Анализ влияния производственного процесса на окружающую среду

На окружающую среду могут быть оказаны такие воздействия как заражение воздуха прилегающей территории от производства, уничтожение растительности, путем непосредственного заражения токсичным веществом, механическое и химическое загрязнение водостоков, загрязнение сточными водами, повреждение и загрязнение почвенного покрова.

Данные факторы загрязнения окружающей среды представляют наивысшую опасность для экологической обстановки и для человека. Эти воздействия на окружающую среду могут вызвать уничтожение некоторых видов растительности, загрязнение атмосферы и водоемов. Также негативное влияние оказывается на здоровье человека. Загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количества выбросов должен осуществляться контроль расхода воздуха в топку котла, так как при нехватке окислителя происходит недожог, который приводит к увеличению количества золовидных отходов процесса сжигания. При избытке воздуха образуются оксиды азота.

Регулирование температуры в топке котла является одним из важных аспектов в системе, так как наибольшее влияние на образование оксида азота оказывает температура. С ее ростом от 1500 до 2200 К выход оксида азота увеличивается примерно в 10 раз, в то время как пятикратное увеличение концентрации кислорода повышает выход NO лишь в 2 раза.

Улавливание сернистых соединений в выбросах тепловых станций и различных производств является одним из наиболее сложных и трудоемких процессов. В мировой практике, как правило, очищают от серы дымовые газы, для чего применяют различные процессы. Эти процессы можно

разделить на три группы: процессы с применением жидких поглотителей – абсорбционные (мокрые) и процессы, основанные на взаимодействии газа с твердым веществом – адсорбционные и каталитические (сухие). Преимущественно в этих процессах поглотителем служат известняк или известь.

Таким образом, снижение выбросов токсичных веществ в атмосферу и повышение экологической эффективности теплоэнергетики может быть реализовано в несколько направлений, таких как выполнение природоохранных мероприятий; внедрение экологического мониторинга; выполнение мероприятий по энергосбережению; использование научных исследований и новейших научных разработок.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, произошедшая в результате опасного природного явления, аварии, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- 1) укрытие в защитных сооружениях;
- 2) проведение эвакуационных мероприятий;
- 3) использование средств индивидуальной защиты.

Опасными местами котельной являются помещения топочной камеры и трубные магистрали.

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Наибольшую опасность в котельной представляет возникновение очагов возгорания. План эвакуации представлен на рисунке 5.1.



Рисунок 6.1 – План эвакуации котельной

При эксплуатации необходимо контролировать состояние штабелей путем внешнего осмотра и измерения температуры в штабелях. Признаки самовозгорания: наличие пятен на увлажненной поверхности штабеля, повышение температуры. При появлении признаков самовозгорания топлива в первую очередь необходимо начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе.

Распространённая причина возникновения пожара в котельной это нарушение противопожарных правил, поэтому обслуживающий персонал должен их знать и выполнять.

6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве

При установке оборудования автоматизации, особое требование предъявляется к качеству монтажа технических средств. Некачественный монтаж может привести к утечке горячего топлива или воздуха, что может стать причиной возгорания. Поэтому такой монтаж производят слесари КИПиА с разрядом не ниже 4, так как от их квалификации и качества выполнения монтажных работ зависят жизни людей. Помимо риска обслуживающего персонала, существует риск аварий в зимний период, и тогда потребители останутся без тепло и электроснабжения.

6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Были проведены следующие противопожарные мероприятия:

- помещение было оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; проверена исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования;
- каждый сотрудник знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения. Помещение обеспечено следующими средствами пожаротушения:
 - аэрозольный огнетушитель - генератор огнетушащего аэрозоля «Допинг 2» – 1 шт;
 - углекислотный огнетушитель ОУ-5 - 1 шт;

- ящик с песком на 0,5 м - 1 шт;
- железные лопаты - 2 шт.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

Ни в коем случае нельзя допускать применения при растопках котлоагрегатов керосина, бензина или других пожароопасных жидкостей, так как применение вышеуказанных жидкостей при растопках приводит к возникновению пожара. К возникновению пожара приводят неисправная электропроводка в котельной, а также оседающая на пол, стены, на котлы и в другие места топливная горячая пыль, которая может в любое время загореться, и пламя быстро распространится по всему помещению.

При появлении признаков самовозгорания необходимо в первую очередь начать подачу топлива из этого штабеля в бункера котлов, но без очагов огня во избежание пожара в котельном цехе. Заливать очаги горения в штабеле водой запрещено, так как это интенсифицирует процесс самовозгорания. Для ликвидации очагов горения штабель вскрывают, переносят очаги горения на специальную площадку и на ней заливают водой. На резервных складах запасы топлива необходимо проверять и обновлять, расходуя в первую очередь штабеля, которые имеют температуру 40–60 °С.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Конституция является основой правового законодательства. Законы и правовые акты, которые принимаются в РФ, не должны противоречить конституции. Существуют принятые нормы в области охраны труда:

- 1) на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной деятельности предприятия;
- 2) единые нормативные требования по охране труда;
- 3) защита интересов работников, пострадавших в результате

несчастных случаев на производстве.

6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Раз в три месяца оператор котельной должен проходить инструктаж по технике безопасности, также соблюдать правила пожарной безопасности. Оператор не должен оставлять котел без присмотра и надзора. Предприятие должно обеспечить оператора котельной индивидуальными средствами защиты, такие как спецодежда, спец-обувь и так далее. Остановка котла производится в случаях аварии или после получения распоряжения от администрации предприятия. В конце рабочего дня оператор обязан сдать дежурство, сделав отметку в журнале.

6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Все работники имеют право на охрану труда, в том числе:

- 1) на рабочее место, которое защищено от воздействия вредных или опасных производственных факторов;
- 2) на возмещение вреда, которое причинено увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей;
- 3) на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

Рабочее помещение должно соответствовать всем нормам освещения. Рабочее место должно иметь обеденное место, и оснащено средствами гигиенического ухода.

6.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были рассмотрены и проанализированы вопросы, которые обуславливают социальную ответственность для разработанной системы.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее: выполнен анализ вредных и опасных факторов, возникающих на производстве; выполнено описание возможных ЧС и мер по их предупреждению и оповещению; отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

Социальная роль автоматической системы регулирования температуры перегретого пара состоит в том, что при внедрении разработки простой будет уменьшен до минимума, следовательно, парогенератор будет меньше работать, что говорит о снижении пагубных факторов на окружающую среду.

Проблема деградации окружающей среды в настоящее время стоит очень остро, это связано с тем, что многие предприятия используют устаревшее оборудование, которое не имеет новейших систем фильтрации. Тем самым количество выбросов и отходов не уменьшается, а, наоборот, увеличивается, что пагубно влияет на окружающий мир и здоровье человека. Устанавливая новое оборудование, которое регулирует работу котлов, сокращается влияние в разы на атмосферу и литосферу.

Заключение

Результатом выполненной выпускной квалификационной работы является АСР температуры перегретого пара парогенератора БКЗ-210-140 на базе программируемого логического контроллера.

При выполнении работы были разработаны функциональная, принципиально электрическая и монтажная схемы. Произведен выбор оборудования для АСР температуры перегретого пара и на его основании разработана заказная спецификация.

Экспериментальным путем были определены параметры объекта управления. При значении этих параметров были определены оптимальные настройки регулятора. Для разработанной системы была создана мнемосхема, позволяющая управлять технологическим процессом.

Разработанная автоматическая система регулирования температуры перегретого пара парогенератора БКЗ 210-140 имеет высокий спрос, так как она основана на микропроцессорной технике и современных средствах автоматизации.

Список использованных источников

- 1 Руководящие указания по объему оснащения тепловых эклектических станций контрольно-измерительными приборами, средствами регулирования, технологической защиты, блокировки и сигнализации. – М.: СНТИ ОРГРЭС, 1981. – 54 с.
- 2 Котёл паровой БКЗ 210-140. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://akmz.net/production/steam/coal/bkz-210-140> свободный. – Загл. с экрана.
- 3 Клюев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
- 4 Глушков Д.О. Автоматизация технологических процессов и производств промышленной теплоэнергетики. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 180 с.
- 5 Термоэлектрические преобразователи Овен. Каталог продукции 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/catalog/termosoprotivleniya_termopari_s_npt_dts_i_dtp_i/41050575 свободный. – Загл. с экрана.
- 6 Термоэлектрические преобразователи Элемер. Каталог продукции 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elemer.ru/production/temperature/txxu/txxu_205n.php свободный. – Загл. с экрана.
- 7 Термоэлектрические преобразователи Теплоприбор. Каталог продукции 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.td-utr.ru/production/produkcija-teplopribor-chelyabinsk/termopreobrazovateli-thathk-0193-02-0193-02a-1393-02> свободный. – Загл. с экрана.

8 Волошенко А.В., Медведев В.В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 120 с.

9 Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Каталог продукции ООО «Чебоксарыэлектропривод». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chebep.ru/produkcija/meof/meof_1000/?item=814 свободный. – Загл. с экрана.

10 Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skbspa.ru/ftpgetfile.php?id=231> свободный. – Загл. с экрана.

11 Блоки управления БУЭР 1-30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

12 ПЛК63 Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk63_1001.pdf свободный. – Загл. с экрана.

13 Контроллер малоканальный Ремиконт Р-130. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/p-130/> свободный. – Загл. с экрана.

14 Контроллер малоканальный МФК 1500. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tecon.ru/prodykciia/kontrollery/?cat=6> свободный. – Загл. с экрана.

15 Блоки управления БУЭР 1-30, схемы подключения технических средств измерения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elkont.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

16 Резисторы С2–С3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.reom.ru/page.php?pageId=5&topic=43&catId=269> свободный. – Загл. с экрана.

17 ПЛК63 Схемы подключения технических средств измерения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.owen.ru/uploads/datchik_temperaturi_4..20ma_1.pdf свободный. – Загл. с экрана.

18 ГОСТ 1508-78 Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.

19 ГОСТ 1508-78 Кабели контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.

20 Щит шкафной малогабаритный. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ugka.ru/produkcija/korpusa_witov/wity_shkafnye_malogabaritnye, свободный. – Загл. с экрана.

21 Ключев А.С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. – 280 с.

22 Атрошенко Ю.К. Метрология, стандартизация и сертификация: сборник лабораторных и практических работ: учебное пособие. Часть 2. – Томск: изд-во ТПУ, 2014. – 92 с.

23 Вукалович М.П., Ривкин С.П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара .- М.: Изд. Стандартов, 1969.- 408с.

24 Стефани Е.П. – Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. Издание 2-е. Москва: «Энергия», 1972-376 с.

25 Широкий Д.К., Куриленко О.Д. – Расчет параметров промышленных систем регулирования. Справочник. Киев: Техника, 1972-232 с.

26 Татарников А.А., Кац М.Д. Исходные данные к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств».- Томск: изд-во ТПУ, 2004.- 9с.

27 Тепло и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. Под общ. ред. В.А. Григорьева, В. М. Зорина. - М.: Энергоиздат, 1982.- 375 с.

28 Наладка автоматического регулирования барабанных паровых котлов/А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, С. И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.

29 СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm свободный. – Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Расчет коэффициента передачи регулирующего клапана

Исходные данные к расчету приведены в [26].

Вычислим потери давления в трубопроводной линии при максимальном расходе среды (без регулирующего органа):

$$W_{max} = n_1 \cdot n_2 \cdot W_{p,max} = 1 \cdot 1 \cdot 24 = 24 \text{ т/ч}, \quad (\text{A.1})$$

где n_1 – количество конденсационных установок; n_2 – количество впрысков; $W_{p,max}$ – максимальный расход воды на впрыск, т/ч.

Далее рассчитываем участок 1 (барабан-коллектор). Среда – насыщенный пар. Плотность пара на участке определяется по давлению и температуре $P_6 = 12,48 \text{ МПа}$ и $T_6 = 330^\circ\text{C}$ [23] и равна $\rho_{n,1} = 44,8 \text{ кг/м}^3$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_1 = \frac{W_{max} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{тр,1}^2}{4} \cdot \rho_{n,1}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (82 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 28,18 \text{ м/с}, \quad (\text{A.2})$$

где $d_{тр,1}$ – внутренний диаметр трубы.

Определим коэффициент кинематической вязкости по формуле:

$$\nu_1 = \frac{\mu_1}{\rho_{n,1}} = \frac{2094,5 \cdot 10^{-8}}{44,8} = 4,67 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, \quad (\text{A.3})$$

где μ_1 – коэффициент динамической вязкости (Па·с), который определяется по таблице [23].

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{max,1} = \frac{\omega_1 \cdot d_{тр,1}}{\nu_1} = \frac{28,18 \cdot 82 \cdot 10^{-3}}{4,67 \cdot 10^{-7}} = 4,9 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (\text{A.4})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},1}} + \frac{68}{Re_{\text{max},1}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.5})$$

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{82} + \frac{68}{4,9 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр},1} = \lambda_1 \cdot \frac{L_{\text{тр},1}}{d_{\text{тр},1}} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{n,1} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.6})$$

$$\Delta P_{\text{тр},1} = 0,024 \cdot \frac{21,6}{82} \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,112 \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},1}$ – длина участка 1 (м).

Потери давления на местных сопротивлениях на участке 1 при максимальном расходе.

Рассчитываем колено 90° . Коэффициенты $A_1=130$ и $\xi_{\text{кв}} = 0,6$ определяем по таблице [27]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{\text{мк}} = \frac{A_1}{Re_{\text{max},1}} + \xi_{\text{кв}} = \frac{130}{4,9 \cdot 10^6} + 0,6 = 0,6, \quad (\text{A.7})$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_{\text{к},90} = \xi_{\text{мк}} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{\text{в},1} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.8})$$

$$\Delta P_{\text{к},90} = 0,6 \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,0106 \text{ МПа}.$$

Количество колен по заданию $n=1$ шт. Тогда суммарные потери давления на коленах 90° будут равны:

$$\sum \Delta P_{к,90} = n \cdot \Delta P_{к,90}, \quad (A.9)$$

$$\sum \Delta P_{к,90} = 1 \cdot 0.0106 = 0,0106 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем колено 60° . Коэффициенты $A_1=120$ и $\xi_{кв} = 0,52$ определяем по таблице [27]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{мк} = \frac{A_1}{Re_{max,1}} + \xi_{кв} = \frac{120}{4,9 \cdot 10^6} + 0,52 = 0,52, \quad (A.10)$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_{к,60} = \xi_{мк} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{в,1} \cdot 10^{-6}, \quad (A.11)$$

$$\Delta P_{к,60} = 0,52 \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,0092 \text{ МПа.}$$

Количество колен по заданию $n=1$ шт. Тогда суммарные потери давления на коленах 60° будут равны:

$$\sum \Delta P_{к,60} = n \cdot \Delta P_{к,60}, \quad (A.12)$$

$$\sum \Delta P_{к,60} = 1 \cdot 0.0092 = 0,0092 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем тройник. Коэффициенты $A_1=150$ и $\xi_{кв} = 0,3$ определяем по таблице [27]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{мк} = \frac{A_1}{Re_{max,1}} + \xi_{кв} = \frac{150}{4,9 \cdot 10^6} + 0,3 = 0,3, \quad (A.13)$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_{т} = \xi_{мк} \cdot \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \rho_{в,1} \cdot 10^{-6}, \quad (A.14)$$

$$\Delta P_T = 0,3 \cdot \frac{28,18^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,0053 \text{ МПа.}$$

Количество тройников по заданию $n=1$ шт. Тогда суммарные потери давления на тройниках будут равны:

$$\sum \Delta P_T = n \cdot \Delta P_T, \quad (\text{A.15})$$

$$\sum \Delta P_T = 1 \cdot 0,0053 = 0,0053 \text{ МПа.}$$

Суммарные потери на первом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_1 = \Delta P_{\text{тр}1} + \sum \Delta P_{\text{к},90} + \sum \Delta P_{\text{к},60} + \sum \Delta P_T, \quad (\text{A.16})$$

$$\sum \Delta P_1 = 0,112 + 0,0106 + 0,0092 + 0,0053 = 0,137 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем участок 2 (коллектор). Среда – насыщенный пар. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 1: $\rho_{n,2} = \rho_{n,1}$; $\nu_2 = \nu_1$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_2 = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},2}^2}{4} \cdot \rho_{n,2}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (78 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 31,14 \text{ м/с}, \quad (\text{A.17})$$

где $d_{\text{тр},2}$ – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{\text{max},2} = \frac{\omega_2 \cdot d_{\text{тр},2}}{\nu_2} = \frac{31,14 \cdot 78 \cdot 10^{-3}}{4,67 \cdot 10^{-7}} = 5,2 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (\text{A.18})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},2}} + \frac{68}{Re_{\text{max},2}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.19})$$

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{78} + \frac{68}{5,2 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,025.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр},2} = \lambda_2 \cdot \frac{L_{\text{тр},2}}{d_{\text{тр},2}} \cdot \frac{\omega_2^2}{2} \cdot \rho_{n,2} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.20})$$

$$\Delta P_{\text{тр},2} = 0,025 \cdot \frac{5,6}{78} \cdot \frac{31,14^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,039 \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},2}$ – длина участка 2 (м).

Суммарные потери на втором участке трубопровода:

$$\Sigma \Delta P_2 = \Delta P_{\text{тр}2}, \quad (\text{A.21})$$

$$\Sigma \Delta P_2 = 0,039 \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 3 (спуск к конденсатору). Среда – насыщенный пар. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 1: $\rho_{n,3} = \rho_{n,1}$; $\nu_3 = \nu_1$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_3 = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},3}^2}{4} \cdot \rho_{n,3}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (72 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 9,14 \text{ м/с}, \quad (\text{A.22})$$

где $d_{\text{тр},3}$ – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{\text{max},3} = \frac{\omega_3 \cdot d_{\text{тр},3}}{\nu_3} = \frac{9,14 \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{4,67 \cdot 10^{-7}} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (\text{A.23})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2 \text{ мм}$.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_3 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},3}} + \frac{68}{Re_{\text{max},3}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.24})$$

$$\lambda_3 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{72} + \frac{68}{1,4 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,025.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр},3} = \lambda_3 \cdot \frac{L_{\text{тр},3}}{d_{\text{тр},3}} \cdot \frac{\omega_3^2}{2} \cdot \rho_{n,3} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.25})$$

$$\Delta P_{\text{тр},3} = 0,025 \cdot \frac{0,8}{72} \cdot \frac{9,14^2}{2} \cdot 44,8 \cdot 10^{-6} = 0,51 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},3}$ – длина участка 3 (м).

Суммарные потери на третьем участке трубопровода:

$$\Sigma \Delta P_3 = \Delta P_{\text{тр}3}, \quad (\text{A.26})$$

$$\Sigma \Delta P_3 = 0,51 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 4 (конденсатор). Среда – насыщенный пар. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 1: $\rho_{n,4} = \rho_{n,1}$; $\nu_4 = \nu_1$.

Потеря давления при максимальном расходе питательной воды принимается равной [28] : $\Delta P_{\text{к}} = 0,1 \text{ МПа}$.

Суммарные потери на четвертом участке трубопровода:

$$\Sigma \Delta P_4 = \Delta P_{\text{к}}, \quad (\text{A.27})$$

$$\Sigma \Delta P_4 = 0,1 \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 5 (отвод конденсатора). Среда – вода. Плотность пара на участке определяется по давлению и температуре $P_6 = 14,63 \text{ МПа}$ и $T_6 = 340,16^\circ\text{C}$ [23] и равна $\rho_{n,1} = 610,68 \text{ кг/м}^3$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_5 = \frac{(W_{max}/n_5) \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{тр,5}^2}{4} \cdot \rho_{n,5}} = \frac{24/3 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (42 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 2,63 \text{ м/с} , \quad (\text{A.28})$$

где $d_{тр,5}$ – внутренний диаметр трубы; $n_5 = 3$ шт – количество трубопроводов.

Определим коэффициент кинематической вязкости по формуле:

$$\nu_5 = \frac{\mu_5}{\rho_{n,5}} = \frac{2131 \cdot 10^{-8}}{610,68} = 0,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с} , \quad (\text{A.29})$$

где μ_5 – коэффициент динамической вязкости (Па·с), который определяется по таблице [23].

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{max,5} = \frac{\omega_5 \cdot d_{тр,5}}{\nu_5} = \frac{2,63 \cdot 42 \cdot 10^{-3}}{0,35 \cdot 10^{-7}} = 3,2 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с} . \quad (\text{A.30})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [6] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_5 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{тр,5}} + \frac{68}{Re_{max,5}} \right)^{0,25} , \quad (\text{A.31})$$

$$\lambda_5 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{42} + \frac{68}{3,2 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,029.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{тр,5} = \lambda_5 \cdot \frac{L_{тр,5}}{d_{тр,5}} \cdot \frac{\omega_5^2}{2} \cdot \rho_{n,5} \cdot 10^{-6} , \quad (\text{A.32})$$

$$\Delta P_{тр,5} = 0,029 \cdot \frac{2,4}{42} \cdot \frac{2,63^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},5}$ – длина участка 5 (м).

Суммарные потери на пятом участке трубопровода:

$$\Sigma \Delta P_5 = \Delta P_{\text{тр},5} , \quad (\text{A.33})$$

$$\Sigma \Delta P_5 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ МПа.}$$

Рассчитываем участок 6 (коллектор). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5: $\rho_{n,6} = \rho_{n,5}$; $\nu_6 = \nu_5$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_6 = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},6}^2}{4} \cdot \rho_{n,6}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (99 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 1,42 \text{ м/с} , \quad (\text{A.34})$$

где $d_{\text{тр},6}$ – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{\text{max},6} = \frac{\omega_6 \cdot d_{\text{тр},6}}{\nu_6} = \frac{1,42 \cdot 99 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 4 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с} . \quad (\text{A.35})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_6 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},6}} + \frac{68}{Re_{\text{max},6}} \right)^{0,25} , \quad (\text{A.36})$$

$$\lambda_6 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{99} + \frac{68}{4 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,023.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр},6} = \lambda_6 \cdot \frac{L_{\text{тр},6}}{d_{\text{тр},6}} \cdot \frac{\omega_6^2}{2} \cdot \rho_{n,6} \cdot 10^{-6} , \quad (\text{A.37})$$

$$\Delta P_{\text{тр},6} = 0,023 \cdot \frac{4,8}{99} \cdot \frac{1,42^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 0,69 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},6}$ – длина участка 6 (м).

Суммарные потери на шестом участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_6 = \Delta P_{\text{тр}6}, \quad (\text{A.38})$$

$$\sum \Delta P_6 = 0,69 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 7 (снижение к коллектору на отметке 8 м).
Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5: $\rho_{n,7} = \rho_{n,5}$; $\nu_7 = \nu_5$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_7 = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},7}^2}{4} \cdot \rho_{n,7}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (86 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 1,88 \text{ м/с}, \quad (\text{A.39})$$

где $d_{\text{тр},7}$ – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{\text{max},7} = \frac{\omega_7 \cdot d_{\text{тр},7}}{\nu_7} = \frac{1,88 \cdot 86 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (\text{A.40})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_7 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},7}} + \frac{68}{Re_{\text{max},7}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.41})$$

$$\lambda_7 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{86} + \frac{68}{4,6 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр},7} = \lambda_7 \cdot \frac{L_{\text{тр},7}}{d_{\text{тр},7}} \cdot \frac{\omega_7^2}{2} \cdot \rho_{n,7} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.42})$$

$$\Delta P_{\text{тр},7} = 0,024 \cdot \frac{36,8}{86} \cdot \frac{1,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 11,08 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},7}$ – длина участка 7 (м).

Суммарные потери на седьмом участке трубопровода:

$$\Sigma \Delta P_7 = \Delta P_{\text{тр}7}, \quad (\text{A.43})$$

$$\Sigma \Delta P_7 = 11,08 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 8 (коллектор на отметке 8 м). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5: $\rho_{n,8} = \rho_{n,5}; v_8 = v_5$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_8 = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},8}^2}{4} \cdot \rho_{n,8}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (86 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 1,88 \text{ м/с}, \quad (\text{A.44})$$

где $d_{\text{тр},8}$ – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{\text{max},8} = \frac{\omega_8 \cdot d_{\text{тр},8}}{v_8} = \frac{1,88 \cdot 86 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 4,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (\text{A.45})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_8 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},8}} + \frac{68}{Re_{\text{max},8}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.46})$$

$$\lambda_8 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{86} + \frac{68}{4,6 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр},8} = \lambda_8 \cdot \frac{L_{\text{тр},8}}{d_{\text{тр},8}} \cdot \frac{\omega_8^2}{2} \cdot \rho_{n,8} \cdot 10^{-6}, \quad (\text{A.47})$$

$$\Delta P_{\text{тр},8} = 0,024 \cdot \frac{4,8}{86} \cdot \frac{1,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ МПа},$$

где $L_{\text{тр},8}$ – длина участка 8 (м).

Суммарные потери на восьмом участке трубопровода:

$$\Sigma \Delta P_8 = \Delta P_{\text{тр}8}, \quad (\text{A.48})$$

$$\Sigma \Delta P_8 = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}.$$

Рассчитываем участок 9 (подъем к впрыскивающему охладителю первой ступени). Среда – вода. Параметры пара приблизительно соответствуют параметрам участка 5: $\rho_{n,9} = \rho_{n,5}$; $\nu_9 = \nu_5$.

Скорость среды вычисляется по формуле:

$$\omega_9 = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{тр},9}^2}{4} \cdot \rho_{n,9}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (42 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 610,68} = 7,88 \text{ м/с}, \quad (\text{A.49})$$

где $d_{\text{тр},9}$ – внутренний диаметр трубы.

Максимальное значение числа Рейнольдса равно:

$$Re_{\text{max},9} = \frac{\omega_9 \cdot d_{\text{тр},9}}{\nu_9} = \frac{7,88 \cdot 42 \cdot 10^{-3}}{3,49 \cdot 10^{-8}} = 9,5 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}. \quad (\text{A.50})$$

Абсолютная шероховатость стальных бесшовных труб после нескольких лет эксплуатации определяется по [27] $\Delta = 0,2$ мм.

Коэффициент трения определяется по формуле:

$$\lambda_9 = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{\text{тр},9}} + \frac{68}{Re_{\text{max},9}} \right)^{0,25}, \quad (\text{A.51})$$

$$\lambda_9 = 0,11 \cdot \left(\frac{0,2}{42} + \frac{68}{9,5 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,028.$$

Потеря давления на трение при максимальном расходе питательной воды определяется по формуле:

$$\Delta P_{тр,9} = \lambda_9 \cdot \frac{L_{тр,9}}{d_{тр,9}} \cdot \frac{\omega_9^2}{2} \cdot \rho_{n,9} \cdot 10^{-6}, \quad (A.52)$$

$$\Delta P_{тр,9} = 0,028 \cdot \frac{44,8}{42} \cdot \frac{7,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 0,57 \text{ МПа},$$

где $L_{тр,9}$ – длина участка 9 (м).

Потери давления на местных сопротивлениях на участке 9 при максимальном расходе. Рассчитываем вентиль. Коэффициенты $A_1=75$ и $\xi_{кв} = 0,03$ определяем по таблице [27]. Коэффициент местного сопротивления определяем по формуле:

$$\xi_{мз} = \frac{A_1}{Re_{max,1}} + \xi_{кв} = \frac{75}{5,2 \cdot 10^6} + 0,03 = 0,03, \quad (A.53)$$

Потери давления на одном колене равны:

$$\Delta P_3 = \xi_{мз} \cdot \frac{\omega_9^2}{2} \cdot \rho_{в,9} \cdot 10^{-6}, \quad (A.54)$$

$$\Delta P_3 = 0,03 \cdot \frac{7,88^2}{2} \cdot 610,68 \cdot 10^{-6} = 5,69 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}.$$

Количество вентилях по заданию $n=1$ шт. Тогда суммарные потери давления на вентилях будут равны:

$$\sum \Delta P_в = n \cdot \Delta P_3, \quad (A.55)$$

$$\sum \Delta P_в = 1 \cdot 5,69 \cdot 10^{-4} = 5,69 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}.$$

Напор столба жидкости на участке трубопровода:

$$\sum \Delta P_{h,9} = g \cdot \rho_{в,9} \cdot \Delta h_9 \cdot 10^{-6}, \quad (A.56)$$

$$\sum \Delta P_{h,9} = 9.81 \cdot 610,68 \cdot 22,3 \cdot 10^{-6} = 0,134 \text{ МПа.}$$

Общие потери давления на участке 9:

$$\sum \Delta P_9 = \Delta P_{\text{тр}9} + \sum \Delta P_{\text{в}} + \sum \Delta P_{h,9}, \quad (\text{A.57})$$

$$\sum \Delta P_1 = 0,57 + 5,69 \cdot 10^{-4} + 0,134 = 0,7 \text{ МПа.}$$

Суммарные потери давления на трубопроводной сети

Общие потери давления на участке впрыска котла:

$$\sum \Delta P_c^{\text{max}} = \sum \Delta P_{1..9} = 0,993 \text{ МПа.} \quad (\text{A.58})$$

Перепад давления на РПК при максимальном расходе питательной воды:

$$\sum \Delta P_{\text{РПК}}^{\text{max}} = P_{\text{б}} - P_{\text{т}} - \Delta P_c^{\text{max}} + P_{\text{вент}} = 0,333 \text{ МПа.} \quad (\text{A.59})$$

Диаметр условного прохода РПК должен приблизительно соответствовать внутреннему диаметру трубопровода. Значение $D_y = 25 \text{ мм}$ берется из параметрического ряда, устанавливаемого ГОСТ 28338-89.

Максимальная скорость воды в присоединительном патрубке

$$\omega_{\text{РПК}}^{\text{max}} = \frac{W_{\text{max}} \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot D_y^2}{4} \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{24 \cdot 1000}{3600 \cdot \frac{\pi \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 44,8} = 303,15 \text{ м/с.} \quad (\text{A.60})$$

Коэффициент сопротивления РПК при максимальном расходе

$$\xi_{\text{РПК}}^{\text{max}} = \frac{2 \cdot \Delta P_{\text{РПК}}^{\text{max}} \cdot 10^6}{(\omega_{\text{РПК}}^{\text{max}})^2 \cdot \rho_{\text{в1}}} = \frac{2 \cdot 0,333 \cdot 10^6}{303,15^2 \cdot 44,8} = 0,16. \quad (\text{A.61})$$

Построение расходной характеристики РПК

Шаг построения расходной характеристики рассчитывается по формуле:

$$\Delta W = \frac{W_{\text{max}} - 0,2 \cdot W_{\text{max}}}{10} = \frac{24 - 0,2 \cdot 24}{10} = 1,92 \text{ т/ч.} \quad (\text{A.62})$$

Начальное значение, шаг и конечное значение счетчика расхода $j = 0, 1..10$.

Расход питательной воды в расчетной точке определяется по формуле:

$$W_j = \Delta W \cdot j + 0,2 \cdot W_{max}. \quad (A.63)$$

Перепад давления в сети в расчетной точке рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_c^j = \Delta P_c^{max} \cdot \left(\frac{W_j}{W_{max}} \right)^2. \quad (A.64)$$

Перепад давления на РПК в расчетной точке определяется по формуле:

$$\Delta P_{РПК}^j = P_n - P_6 - \Delta P_c^j - \sum \Delta P_c^{max}. \quad (A.65)$$

Коэффициент сопротивления РПК в расчетной точке рассчитан по формуле:

$$\zeta_{РПК}^j = \frac{2 \cdot \Delta P_{РПК}^j \cdot 10^6}{\omega_{РПК}^{max^2} \cdot \rho_{в1}} \cdot \left(\frac{W_{max}}{W_j} \right)^2. \quad (A.66)$$

В качестве регулирующего органа возьмем шиберный клапан Чеховского завода энергетического машиностроения.

По значениям коэффициента сопротивления $\zeta_{РПК}^j$ вычисляем величины $\lg(\zeta_{РПК}^j)$ и по графику гидравлической характеристики (рисунок А.1) клапана находим значения относительного перемещения клапана l_j . Результаты расчетов для каждой точки приведены в таблице А.1.

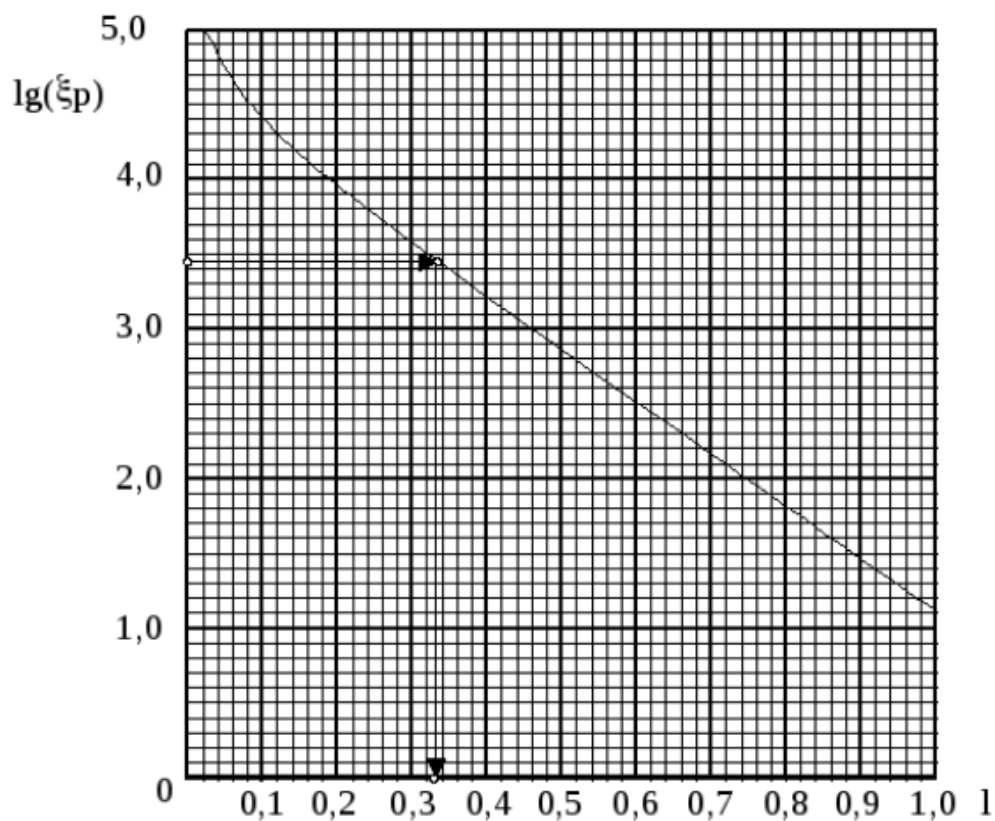


Рисунок А.1 – График зависимости $\zeta_{\text{РПК}}^j = f(l)$ для шибберного регулирующего питательного клапана

Таблица А.1– Результаты расчета

j	W_j	ΔP_c^j	$\Delta P_{\text{РПК}}^j$	$\zeta_{\text{РПК}}^j$	$\lg(\zeta_{\text{РПК}}^j)$	l
0	4,8	0,040	1,117	13,569	1,133	0,12
1	6,72	0,078	1,079	6,686	0,825	0,24
2	8,64	0,129	1,028	3,854	0,586	0,32
3	10,56	0,192	0,965	2,421	0,384	0,34
4	12,48	0,269	0,888	1,596	0,203	0,4
5	14,4	0,357	0,800	1,079	0,033	0,46
6	16,32	0,459	0,698	0,733	-0,135	0,5
7	18,24	0,574	0,583	0,491	-0,309	0,54
8	20,16	0,701	0,456	0,314	-0,503	0,6
9	22,08	0,840	0,317	0,182	-0,741	0,68
10	24	0,993	0,164	0,080	-1,099	0,78

Производим построение графика расходной характеристики клапана $W_j = f(l_j)$ (рисунок А.2).

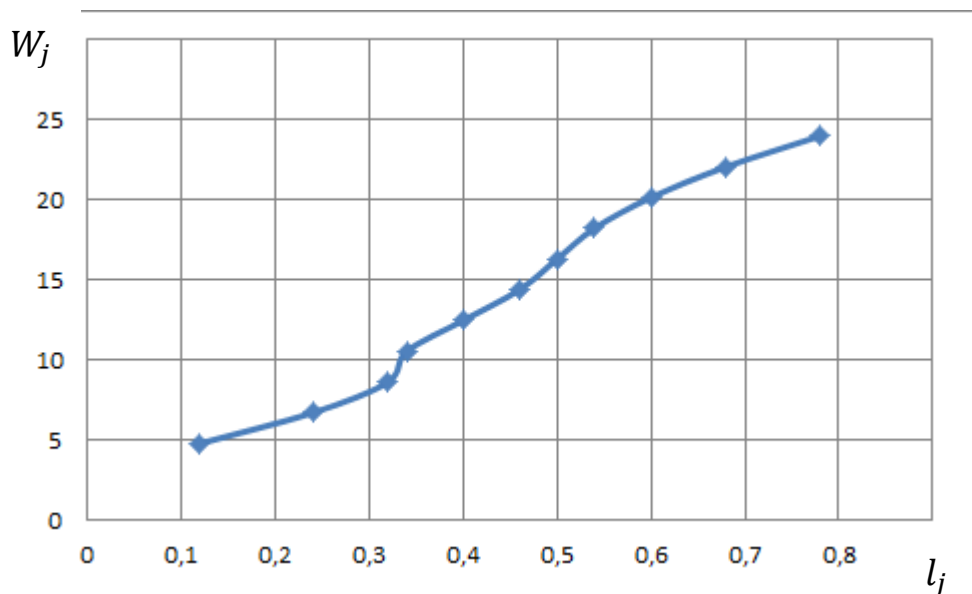


Рисунок А.2 – График расходной характеристики клапана $W_j = f(l_j)$

Коэффициент передачи РПК находится из графика следующим образом: задаемся приращением расхода воды в окрестности выбранного режима работы котла $\Delta W = W_2 - W_1$; по графику расходной характеристики определяется соответствующее изменение относительного перемещения клапана $\Delta l = l_2 - l_1$; искомый коэффициент передачи клапана определяем по формуле:

$$K_{\text{рпк}} = \frac{\Delta W}{\Delta l \cdot 100\%} = \frac{1,92}{0,1 \cdot 100\%} = 0,192. \quad (\text{А.67})$$

где 100% – коэффициент полного диапазона перемещения регулирующего органа.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Расчет оптимальных параметров настройки дифференциатора

Передаточная функция эквивалентного объекта регулирования:

$$W_{об,э}(p) = \frac{W_{об.ин}(p)}{W_{об.оп}(p)}; \quad (Б.1)$$

Задаем степень колебательности $m := 0,989$.

Диапазон изменения частоты задаем $\omega := 0,0.01..0.5$

Делаем замену $P(\omega) := -m\omega + i\omega$.

Определяем расширенные ВЧХ и МЧХ объекта:

$Re(\omega) =$	$Im(\omega) =$
0.52761	-0.87657
0.49218	-0.91058
0.45006	-0.94992
0.39944	-0.99051
0.34016	-1.02862
0.27322	-1.06122
0.20042	-1.08606
0.12397	-1.10177
0.04622	-1.10783
-0.03066	-1.10446
-0.10483	-1.09243
-0.17488	-1.07285
-0.23986	-1.04705
-0.29923	-1.01636
-0.35279	-0.98205
...	...

Рисунок Б.1 – Расширенные ВЧХ и МЧХ объекта

РАФЧХ объекта будет иметь вид:

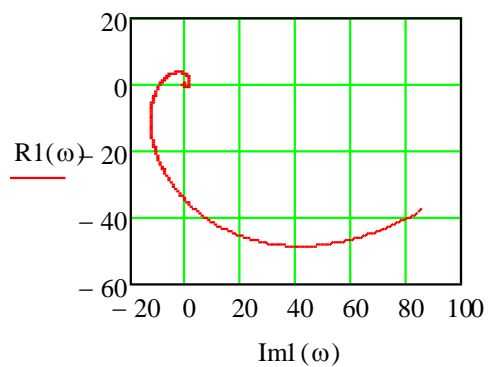


Рисунок Б.2 – РАФЧХ объекта

Определяем расширенные АЧХ и ФЧХ объекта:

$$A(\omega) := \sqrt{\text{Re}(\omega)^2 + \text{Im}(\omega)^2}; \quad (\text{Б.2})$$

$$\phi(\omega) := \text{arctg}\left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}\right). \quad (\text{Б.3})$$

$A_{ia}(\omega) =$	$\phi_{ia}(\omega) =$
1.02311	-1.02898
1.03508	-1.07526
1.05115	-1.12834
1.06802	-1.18747
1.08341	-1.25142
1.09583	-1.31881
1.1044	-1.38831
1.10872	-1.45874
1.1088	-1.5291
1.10489	1.54305
1.09745	1.47513
1.08701	1.40922
1.07417	1.3456
1.0595	1.28448
1.0435	1.22591
...	...

Рисунок Б.3 – Расширенные АЧХ и ФЧХ объекта

Диапазон изменения частоты $\omega := 0,0.001..0.5$.

Определяем коэффициенты системы по формулам:

$$C_2(\omega) := \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \left[\frac{-\text{Im}l(\omega)}{(A_{\hat{1}\hat{a}}(\omega))^2} \right] \quad (\text{Б.4})$$

$$C_3(\omega) := \frac{-(m \cdot \text{Im}l(\omega) + \text{Re}l(\omega))}{(A_{\hat{1}\hat{a}}(\omega))^2} \quad (\text{Б.5})$$

$C_2(\omega) =$	$C_3(\omega) =$
0	-1
0.0002	-0.79895
0.00085	-0.59489
0.00197	-0.39361
0.00359	-0.20646
0.00565	-0.04792
0.00794	0.07239
0.01028	0.15704
0.0125	0.21869
0.01458	0.27132
0.01657	0.32416
0.01849	0.38116
0.02041	0.44295
0.02233	0.50863
0.02427	0.5769
...	...

Рисунок Б.4 – Коэффициенты системы C_2 и C_3

График зависимости $C_2=f(C_3)$ при заданной частоте $\omega := 0.1, 0.101..0.5$ будет иметь вид представленный на рисунке Б.5.

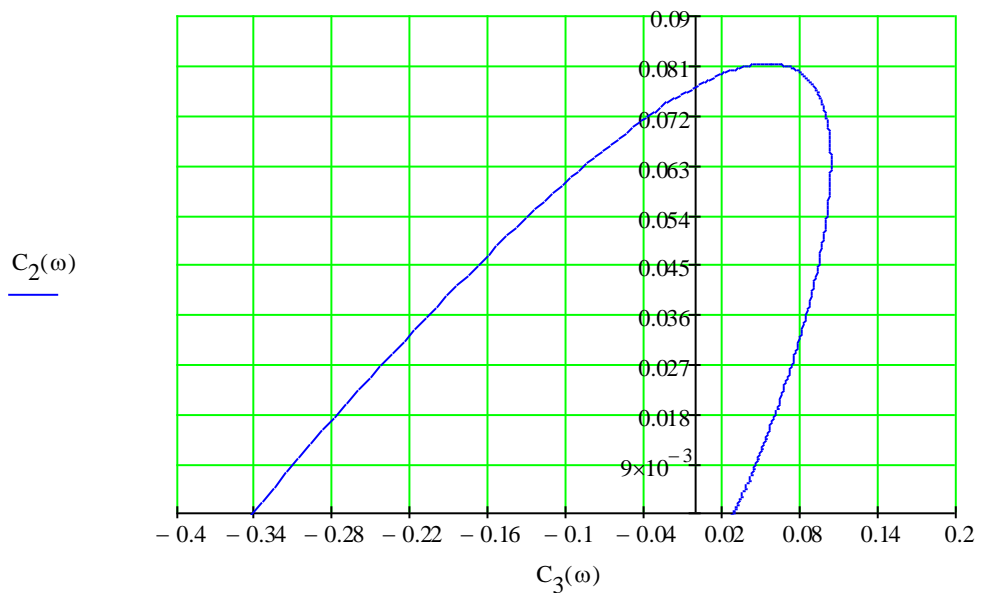


Рисунок Б.5 – График зависимости $C_2=f(C_3)$

Используя второй интегральный критерий находим искомые коэффициенты:

$$C_2 = 0,0773; C_3 = 0,81.$$

Далее по значениям коэффициентов, используя формулы для нахождения параметров, находим параметры настройки дифференциатора k_d и T_d .

$$k_d = \frac{1}{C_3}; \quad (Б.6)$$

$$T_d = \frac{1}{C_2 \cdot k_d}. \quad (Б.7)$$

Тогда оптимальные параметры настройки дифференциатора будут равны:

$$k_d = 1,23; T_d = 10,48.$$

Передаточная функция дифференциатора имеет вид:

$$W_{\text{д}}(P) = \frac{k_{\text{д}} \cdot T_{\text{д}} \cdot P}{T_{\text{д}} \cdot P + 1}. \quad (\text{Б.8})$$

Подставим известные величины и получим конечный вариант:

$$W_{\text{д}}(P) = \frac{12,94 \cdot P}{10,48 \cdot P + 1}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Расчет оптимальных параметров настройки регулятора

Передаточная функция эквивалентного объекта регулирования:

$$W_{об,э}^p(p) = W_{об,ин}(p) + W_{об,оп}(p) \cdot W_d(p). \quad (B.1)$$

Вычисляем оптимальные параметры настройки с помощью расширенных частотных характеристик.

Задаем степень колебательности $m := 0,989$.

Диапазон изменения частоты задаем $\omega := 0,001..0,5$

Делаем замену $P(\omega) := -m\omega + i\omega$.

Определяем расширенные ВЧХ и МЧХ объекта:

$$R2(\omega) := \operatorname{Re}(W_{об,э}^p(p)); \quad \operatorname{Im} 2(\omega) := \operatorname{Im}(W_{об,э}^p(p));$$

$R\chi(\omega) =$	$\operatorname{Im}\chi(\omega) =$
0.00029	-3.08554·10 ⁻⁴
0.00024	-3.15869·10 ⁻⁴
0.00019	-3.17449·10 ⁻⁴
0.00016	-3.17907·10 ⁻⁴
0.00013	-3.19158·10 ⁻⁴
0.0001	-3.21755·10 ⁻⁴
7.92797·10 ⁻⁵	-3.25567·10 ⁻⁴
5.35929·10 ⁻⁵	-3.30113·10 ⁻⁴
2.63062·10 ⁻⁵	-3.34717·10 ⁻⁴
-3.26145·10 ⁻⁶	-3.38583·10 ⁻⁴
-3.55471·10 ⁻⁵	-3.40825·10 ⁻⁴
-7.07734·10 ⁻⁵	-3.40489·10 ⁻⁴
-0.00011	-3.3656·10 ⁻⁴
-0.00015	-3.27972·10 ⁻⁴
-0.00019	-3.1363·10 ⁻⁴
...	...

Рисунок В.1 – Расширенные ВЧХ и МЧХ объекта

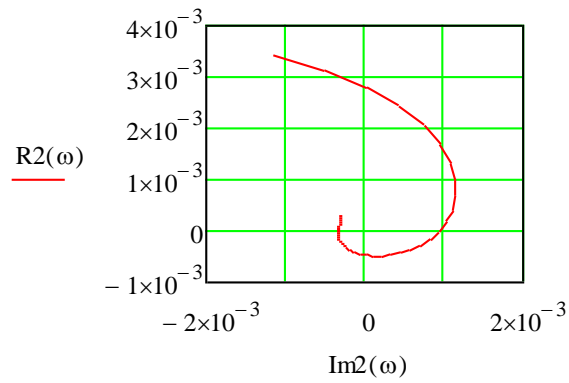


Рисунок В.2 – РАФЧХ объекта

Определяем расширенные АЧХ и ФЧХ объекта:

$$A(\omega) := \sqrt{\text{Re}(\omega)^2 + \text{Im}(\omega)^2}; \quad (\text{B.2})$$

$$\phi(\omega) := \arctg\left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}\right). \quad (\text{B.3})$$

$A_{\text{iaD}}(\omega) =$	$\phi_{\text{iaD}}(\omega) =$
4.24508·10 ⁻⁴	-0.81373
3.93897·10 ⁻⁴	-0.93048
3.71275·10 ⁻⁴	-1.0256
3.5531·10 ⁻⁴	-1.10782
3.44684·10 ⁻⁴	-1.18352
3.38252·10 ⁻⁴	-1.25719
3.35081·10 ⁻⁴	-1.33193
3.34435·10 ⁻⁴	-1.40985
3.3575·10 ⁻⁴	-1.49237
3.38598·10 ⁻⁴	1.56116
3.42674·10 ⁻⁴	1.46687
3.47767·10 ⁻⁴	1.36586
3.53757·10 ⁻⁴	1.25771
3.60608·10 ⁻⁴	1.14208
3.68366·10 ⁻⁴	1.01867
...	...

Рисунок В.3 – Расширенные АЧХ и ФЧХ объекта

Диапазон изменения частоты $\omega := 0, 0.001..0.3$.

Определяем коэффициенты системы по формулам:

$$C_0(\omega) := \frac{(-1)}{(A_{\text{iaD}}(\omega))^2} \cdot \omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im} \chi(\omega); \quad (\text{B.4})$$

$$C_1(\omega) := \frac{(-1)}{(A_{\hat{a}D}(\omega))^2} \cdot (R2(\omega) + m \cdot \text{Im}\lambda(\omega)); \quad (\text{B.5})$$

$C_0(\omega) =$	$C_1(\omega) =$
0	$-2.025 \cdot 10^3$
0.4877	$-1.54865 \cdot 10^3$
2.04141	$-1.0571 \cdot 10^3$
4.79409	-562.69768
8.80395	-89.01373
13.94553	334.58613
19.86027	686.16926
26.05848	964.88511
32.13019	$1.19158 \cdot 10^3$
37.86641	$1.39422 \cdot 10^3$
43.20896	$1.59344 \cdot 10^3$
48.13636	$1.79814 \cdot 10^3$
52.58653	$2.00795 \cdot 10^3$
56.43086	$2.21709 \cdot 10^3$
59.47802	$2.41704 \cdot 10^3$
...	...

Рисунок В.4 – Коэффициенты системы C_0 и C_1

График зависимости $C_0=f(C_1)$ при заданной частоте $\omega := 0.1, 0.101 \dots 0.5$ будет иметь вид представленный на рисунке:

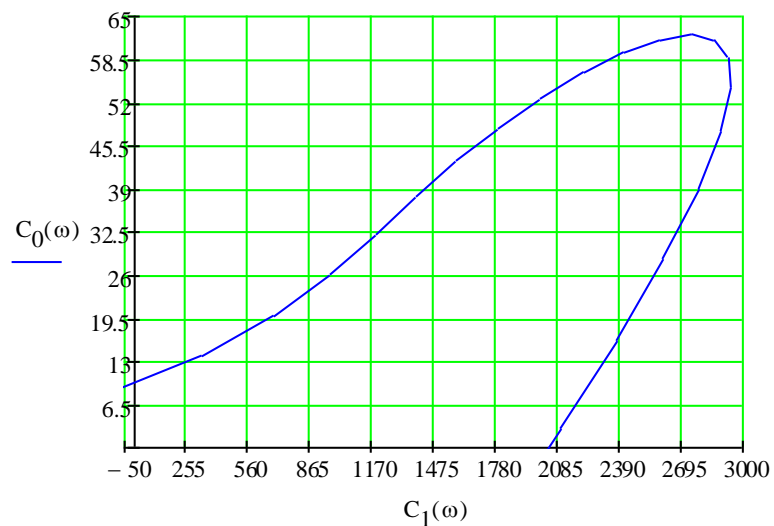


Рисунок В.5 – График зависимости $C_0=f(C_1)$

Используя второй интегральный критерий находим искомые коэффициенты:

$$C_0 = 55,21; C_1 = 2696,7.$$

Далее по значениям коэффициентов, используя формулы для нахождения параметров, находим параметры настройки ПИ-регулятора k_d и T_d .

$$k_d = C_0 \cdot T_d; \quad (B.6)$$

$$k_d = C_1. \quad (B.7)$$

Тогда оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора будут равны:

$$k_d = 2696,7; T_d = 48,84.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид:

$$W_p(P) = \frac{k_d \cdot (1 + T_d \cdot P)}{T_d \cdot P}. \quad (B.8)$$

Подставим известные величины и получим конечный вариант:

$$W_d(P) = \frac{2696,7(1 + 48,84 \cdot P)}{48,84 \cdot P}.$$